

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG

Effect of welding parameters on the geometry of the weld pool during welding by method MAG

Miroslav Sychra
KSP – SM – 560

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – *TU v Liberci*

Rozsah diplomové práce:

Počet stran	100
Počet obrázků	48
Počet tabulek	17
Počet grafů	12
Počet příloh	13

Datum: 5. 1. 2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Miroslav SYCHRA
Studijní program	M2301 Strojní inženýrství
Studijní obor	2303T002 Strojírenská technologie
Zaměření	Strojírenská metalurgie

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG.

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se teoreticky s metodou svařování MAG (fyzikální podstata procesu, svařovací parametry a jejich vliv na tvar svarové lázně).
2. Prostudujte vliv parametrů svařování na proudění v tavné lázni a vytváření geometrie svaru a zejména vliv svařovacího proudu a rychlosti svařování.
3. Seznamte se s ovládáním systému WeldMonitor pro monitorizaci svařovacích parametrů při metodě MAG.
4. Navrhněte experimentální program pro porovnání geometrie svarů provedených různými svařovacími parametry.
5. Realizujte experimentální program s využitím monitorování procesu.
6. Vyhodnoťte experimentální program, výsledky zpracujte.
7. Zhodnoťte geometrické závislosti a optimalizujte výběr svarů na základě provedených měření.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Miroslav Sychra

Téma práce: Vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG

Effect of welding parameters on the geometry of the weld pool during welding by method MAG

Číslo DP: KSP – SM – 560

Vedoucí DP: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG. Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí: teoretické a experimentální. V jednotlivých kapitolách teoretické části je popsán princip obloukového svařování se zaměřením na metodu MAG, včetně popisu systému materiál – plyn – drát. V této části jsou také rozebrány jednotlivé vlivy svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně. Experimentální část je pak věnována ověření změny geometrie svarové lázně na základě rozdílných svařovacích parametrů. Tyto parametry byly voleny tak, aby byla zmapována co možná největší parametrická oblast v systému svařovací proud – rychlost svařování. Výsledkem experimentu je grafické zobrazení jednotlivých geometrických rozměrů v systému svařovacích parametrů.

Abstract:

The aim of this thesis was to determine the influence of welding parameters on the geometry of the weld pool during welding by method MAG. The thesis is divided into two major parts: theoretical and experimental. In each chapter the theoretical part describes principles of arc welding, with a focus on the MAG method including description of system material – gas – wire. The individual effects of welding parameters on weld pool geometry are described in this theoretical part as well. The experimental part is devoted to verification of weld pool geometry changes under different welding parameters. These parameters were selected in order to cover as widest parametric area of welding current – welding speed as possible. The result of experiment is a graphical display of geometric dimensions of the welding parameters.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. 1. 2011

.....

Miroslav Sychra

Chleny 22

517 45 Chleny

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli k získání nezbytných informací a materiálů potřebných při zpracování této diplomové práce.

Zejména děkuji panu **Ing. Jaromíru Moravcovi, Ph.D.**, vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení, cenné připomínky a trpělivost v průběhu jejího řešení.

Dále děkuji panu **Ing. Václavu Musilovi** za vstřícnost a pomoc při zpracování grafických výsledků experimentu.

Poděkování patří také mé rodině za obrovskou podporu a trpělivost během celého studia.

Miroslav Sychra

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	- 9 -
1 ÚVODNÍ ČÁST	- 11 -
2 TEORETICKÁ ČÁST	- 13 -
2.1 Elektrický oblouk a jeho základní části	- 13 -
2.2 Princip svařování MAG	- 17 -
2.2.1 Charakteristika svařování MAG	- 17 -
2.2.2 Elektrický oblouk metody svařování MAG	- 19 -
2.2.3 Přenos svarového kovu v oblouku	- 21 -
2.2.4 Parametry svařování MAG a jejich vliv na geometrii svaru	- 26 -
2.2.4.1 Svařovací napětí	- 28 -
2.2.4.2 Svařovací proud	- 30 -
2.2.4.3 Proudová hustota	- 31 -
2.2.4.4 Druh a polarita svařovacího proudu	- 31 -
2.2.4.5 Volná délka drátu – výlet drátu	- 32 -
2.2.4.6 Rychlost svařování	- 34 -
2.2.4.7 Ostatní parametry svařování	- 36 -
2.2.5 Účinnost tavení a přestup tepla	- 39 -
2.2.6 Vedení a proudění ve svarové lázni	- 41 -
2.3 Ochranné plyny pro svařování MAG	- 43 -
2.3.1 Funkce ochranných plynů	- 43 -
2.3.2 Rozdělení a důsledky ochranné atmosféry na proces svařování	- 43 -
2.3.2.1 Vliv plynů na přenos tepla a profil svarové lázně	- 45 -
2.4 Přídavné materiály pro metodu svařování MAG	- 46 -
2.4.1 Funkce přídavných materiálů	- 46 -
2.4.2 Rozdělení, vlastnosti a použití přídavných materiálů	- 46 -
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 48 -
3.1 Cíle experimentální části	- 48 -
3.2 Zařízení pro realizaci experimentální části	- 49 -
3.3 Postup experimentálních prací	- 57 -
3.3.1 Příprava dílů	- 57 -
3.3.2 Svařování vzorků	- 58 -
3.3.3 Příprava vzorků a jejich metalografické zpracování	- 61 -
3.3.4 Vyhodnocení svařovaných vzorků	- 63 -
3.3.4.1 Vyhodnocení vzorku S5c003	- 67 -
3.3.4.2 Vyhodnocení vzorku S5c078	- 73 -

3.4	Vyhodnocení experimentu	- 76 -
4	ZÁVĚR	- 89 -
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 91 -
6	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 94 -
7	SEZNAM TABULEK	- 96 -
8	SEZNAM GRAFŮ	- 97 -
9	SEZNAM PŘÍLOH	- 98 -

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

l_k	– délka katodové oblasti	[m]
P_k	– výkon vznikající v oblasti katody	[W]
I	– svařovací proud	[A]
U_k	– katodový úbytek napětí	[V]
r_s	– poloměr sloupce oblouku	[m]
E_s	– gradient napětí sloupce oblouku	[V·m ⁻¹]
π	– Pythagorovo číslo	[–]
β	– součinitel pohltivosti záření oblouku	[–]
σ	– Stefan-Boltzmannova konstanta	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]
t_s	– teplota sloupce oblouku	[°C]
U_i	– ionizační napětí prvku	[eV]
P_s	– výkon vznikající ve sloupci oblouku	[W]
U_s	– napětí sloupce oblouku	[V]
l_a	– délka anodové oblasti	[m]
P_a	– výkon vznikající v oblasti anody	[W]
U_a	– anodový úbytek napětí	[V]
P	– celkový výkon elektrického oblouku	[W]
η_o	– účinnost elektrického oblouku	[–]
U	– svařovací napětí	[V]
ΔU	– změna svařovacího napětí	[V]
ΔI	– změna svařovacího proudu	[A]
q	– měrné vnesené teplo	[J·m ⁻¹]
v_s	– rychlost svařování	[m·s ⁻¹]
w	– šířka svarové lázně	[mm]
v	– hloubka závaru	[mm]
p	– převýšení svaru	[mm]
U_0	– napětí naprázdno	[V]
J	– proudová hustota	[A·mm ⁻²]
R	– odpor konce drátu	[Ω]
L_d	– výlet drátu	[mm]
P_{Tav}	– tavný výkon	[W]
Q_{obl}	– teplo na oblouku	[J]
Q_{el}	– teplo na elektrodě	[J]
ρ	– měrný odpor (rezistivita)	[Ω·m]
d	– průměr drátu	[mm]

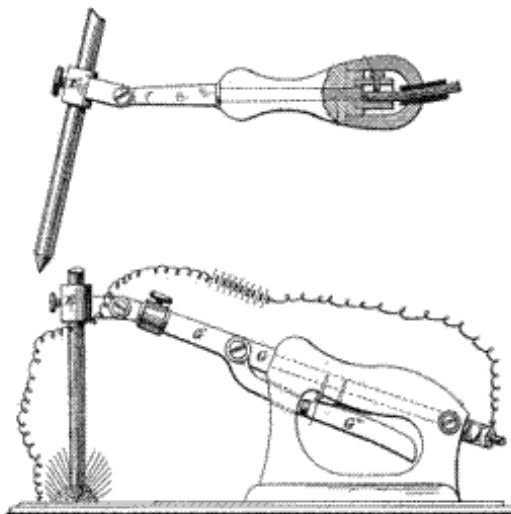
L_p	– vzdálenost kontaktní špičky	[mm]
a	– součinitel teplotní vodivosti	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
PA – PF	– polohy svařování	
η_T	– celková účinnost tavení	[–]
n	– energie vyzářená, odvedená ze sloupce oblouku a přenesená do materiálu	[J]
q_p	– teplo vyzářené a odvedené obloukem	[J]
m	– energie odvedená materiálem	[J]
q_w	– podíl tepla absorbovaný materiálem	[J]
η_a	– účinnost přenosu tepla obloukem	[–]
η_m	– účinnost tavení materiálu	[–]
Pr	– Pradtlovo číslo	[–]
η	– dynamická viskozita	$[Pa \cdot s]$
c_p	– měrná tepelná kapacita při stálém tlaku	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ	– součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Pe	– Pecletovo číslo	[–]
r_L	– poloměr povrchu lázně	[m]
V	– maximální povrchová rychlost proudění	$[m \cdot s^{-1}]$
P_c	– celková plocha svaru	$[mm^2]$
P_Δ	– nosná plocha svaru	$[mm^2]$
P_n	– plocha návaru	$[mm^2]$
$a, b, b_{max}, c, e, p,$		
$w, x, x_{max}, z, z_{max},$	– měřené rozměry makrostruktury svarové lázně	[mm; °]
$v, v_{max}, \alpha, \beta_1, \beta_2$		
x	– vyosení hubice hořáku	[mm]
L_C, L_D	– měřené rozměry svarové lázně	[mm]

1 Úvodní část

Historie svařování

Historie svařování a pájení kovů je stejně stará jako zpracování barevných kovů a železa. Kovy se začaly spojovat tzv. kovářským svařováním, tedy pomocí výhně a kladiva. Také na výrobu pomalé a drahé nýtované a šroubované spoje byly postupně nahrazovány technologií lokálního tavení. Technologie spojování kovů svařováním se rychle rozvinula po objevení dostatečně silných zdrojů tepelné energie, jimiž jsou elektrický oblouk nebo kyslíko-acetylenový plamen.

Za počátek svařování elektrickým obloukem lze považovat rok 1801 (resp. 1802) a práce anglického sira H. Davyho (resp. ruského fyzika V. V. Petrova). V těchto letech však není k dispozici dostatečně výkonný zdroj proudu, takže průmyslového využití se tento objev dočká až o 80 let později. První svarový spoj vzniklý svařováním mezi uhlíkovou elektrodou a základním kovem byl realizován Nicolasem de Benardosem, který je obecně považován za nositele prvního patentu obloukového svařování (obr. 1.1). [1], [2]



Obr. 1.1: Patent obloukového svařování – N. de Benardos & S. Olszewski [3]

Na našem území bylo poprvé použito elektrické obloukové svařování ve Vítkovických železárnách a Škodových závodech v Plzni již kolem roku 1900, a to na opravy ocelových odlitků. [4]

Co se týče vývoje svařovacích metod MIG/MAG, za počátek lze považovat rok 1947, kdy byly v USA uvedeny na trh první použitelné přístroje pro tuto technologii svařování. Tato technologie svařování se označovala jako svařování S. I. G. M. A., což byla zkratka názvu Shielded Inert Gas Metal Arc (oblouk chráněný inertním plynem), odpovídající dnešnímu označení svařování MIG. [5]

V roce 1952 ruští technici poprvé použili ke svařování plyn CO_2 , tímto vznikla svařovací metoda MAG, u nás se tato metoda nejprve prosadila pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. V 60. letech se s poklesem ceny Ar začaly používat směsné plyny, které se uplatňovaly stále více, až umožnily, spolu s odpovídající technologií svařovacích zdrojů, zavedení dnešních technicky dokonalých svařovacích metod MAG. [5]

Svařování MIG/MAG získává v průběhu posledních let stále více na důležitosti nejen pro svařování spojení nelegovaných a nízkolegovaných ocelí, ale důsledkem možnosti využití pulzního oblouku také pro svařování hliníku a vysokolegovaných ocelí. Svařování metodou MIG/MAG je v současné době nejrozšířenější a nejproduktivnější metodou i díky rostoucímu stupni robotizace a automatizace svařovacích pracovišť. Svařovací metody MIG/MAG nabízejí ve srovnání s ostatními svařovacími technikami značné výhody vyplývající z jejich vlastností, kterými jsou vysoký odtavovací výkon, hluboký závar, ekonomičnost provozu, snadná ovladatelnost procesu, možnost mechanizace atd.

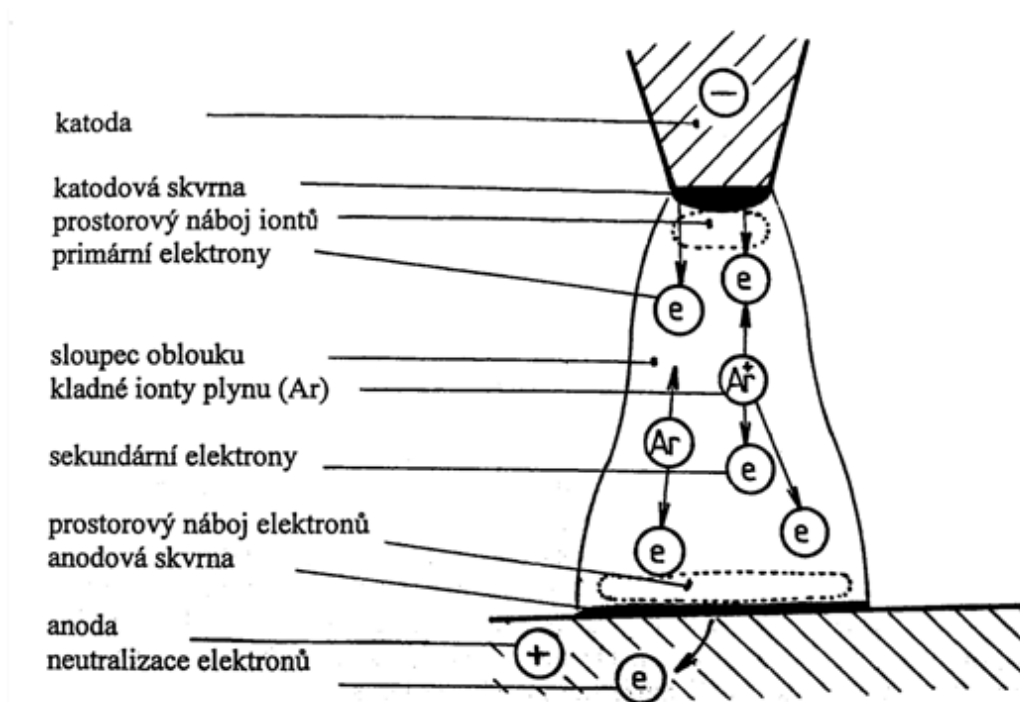
2 Teoretická část

2.1 Elektrický oblouk a jeho základní části

Při svařování elektrickým obloukem se využívá vysoká teplota elektrického oblouku, umožňující koncentrovat velké množství tepla na malém prostoru a tím dosáhnout rychlého natavení svarových ploch základního materiálu a také dobrého tavení přídavného materiálu. Důsledkem tohoto je teplem ovlivněná zóna základního materiálu minimální. Na výkon elektrického oblouku, jeho teplotu a geometrii má vliv mnoho proměnlivých parametrů, např. různé nastavení zdroje svařovacího proudu apod.

Elektrický oblouk je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj hořící mezi koncem elektrody a základním materiálem. Oblouk stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu. Fyzikální a metalurgické děje v oblouku probíhají velmi rychle a za vysokých teplot. Tyto děje jsou mimo jiné ovlivňovány: chemickým složením plazmatu, přídavným materiálem, částečně okolní atmosférou, dále geometrií oblouku a také tepelnou vodivostí plazmatu, přídavného materiálu a základního materiálu. [6]

Elektrický oblouk představuje v elektrickém obvodu určitý odpor, který závisí na parametrech výboje. Každý oblouk je tvořen několika základními částmi: katodovou oblastí, sloupcem oblouku a anodovou oblastí (obr. 2.1).



Obr. 2.1: Hlavní části elektrického oblouku [6]

Katodová oblast (skvrna)

Katodová oblast je ostře ohraničená oblast, která se tvoří na povrchu elektrody zapojené na záporný pól. Délka této oblasti se pohybuje v rozmezí $l_k=10^{-5}$ až 10^{-7} m. Dochází v ní k emisi prvotních elektronů důležitých pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Oblast je stabilní nebo se v závislosti na teplotě, proudu a geometrii konce elektrody po jejím povrchu přemisťuje. Teplota katody se s rostoucím proudem zvětšuje, pohybuje se mezi 2400–3000 °C. Výkon vznikající při hoření oblouku v oblasti katody lze vypočítat pomocí vzorce (1). [6], [7]

Výkon vznikající v oblasti katody [7]:

$$P_k = I \cdot (U_k - U_{em}), \quad [W] \quad (1)$$

kde:

I – svařovací proud [A]

U_k – katodový úbytek napětí [V]

$I \cdot U_{em}$ – energie potřebná k emisi elektronů z povrchu katody [W]

Sloupec oblouku

Sloupec oblouku je zářivě svítící oblast tvaru kužele, který se směrem od katody k anodě mírně rozšiřuje. Je to oblast disociovaného a ionizovaného plynu ve formě plazmy mezi elektrodami, dosahující vysokých teplot. Teplota oblasti závisí na řadě faktorů: především na počtu srážek částic v oblouku, který je dán intenzitou proudu a hodnotou napětí, a také na prostředí oblouku, které určuje stupeň disociace a ionizace v závislosti na teplotě. Disociační a ionizační energie složek plazmatu se v okrajových částech oblouku uvolňuje a využívá ke svařování. Maximální teploty jsou ve středu sloupce oblouku a směrem k jeho okraji klesají. Nejvyšší teplota je těsně pod katodovou oblastí. Teplota oblouku závisí na použité technologii, nejčastěji se pohybuje v rozmezí 8000–15 000 °C. [6], [7]

Sloupec oblouku lze přibližně matematicky popsat pomocí vzorců: (2) poloměr sloupce oblouku, (3) teplota sloupce oblouku, (4) výkon vznikající ve sloupci oblouku.

Poloměr sloupce oblouku [7]:

$$r_s = \frac{I \cdot E_s}{2\pi \cdot \beta \cdot \sigma \cdot t_s^4}, \quad [\text{m}] \quad (2)$$

kde:

I – svařovací proud [A]

E_s – gradient napětí sloupce oblouku [$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$]

π – Pythagorovo číslo [–]

β – součinitel pohltivosti záření oblouku [–]

σ – Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]

t_s – teplota sloupce oblouku [$^{\circ}\text{C}$]

Teplota sloupce oblouku [7]:

$$t_s = (800 \cdot U_i) - 273,15, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

kde:

U_i – ionizační napětí prvku [eV]

Výkon vznikající ve sloupci oblouku [7]:

$$P_s = U_s \cdot I, \quad [\text{W}] \quad (4)$$

kde:

U_s – napětí sloupce oblouku [V]

I – svařovací proud [A]

Anodová oblast (skvrna)

Na povrchu elektrody zapojené na kladný pól se tvoří anodová oblast. Délka této oblasti je přibližně $l_a=10^{-5}$ až 10^{-6} m. Anodová oblast má větší plochu a produkuje větší tepelný výkon než oblast katodová, jsou jí neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Teplota anodové oblasti se pohybuje v rozmezí 2700–3600 °C. Výkon vznikající při hoření oblouku v oblasti anody lze popsat vzorcem (5), celkový výkon elektrického oblouku lze pak získat ze vzorce (6). [6], [7]

Výkon vznikající v oblasti anody [7]:

$$P_a = I \cdot (U_a - U_{em}), \quad [W] \quad (5)$$

kde:

I – svařovací proud [A]

U_a – anodový úbytek napětí [V]

$I \cdot U_{em}$ – energie potřebná k emisi elektronů z povrchu katody [W]

Celkový výkon elektrického oblouku [7]:

$$P = I \cdot (U_k + U_s + U_a) \cdot \eta_o, \quad [W] \quad (6)$$

kde:

I – svařovací proud [A]

U_k – katodový úbytek napětí [V]

U_s – napětí sloupce oblouku [V]

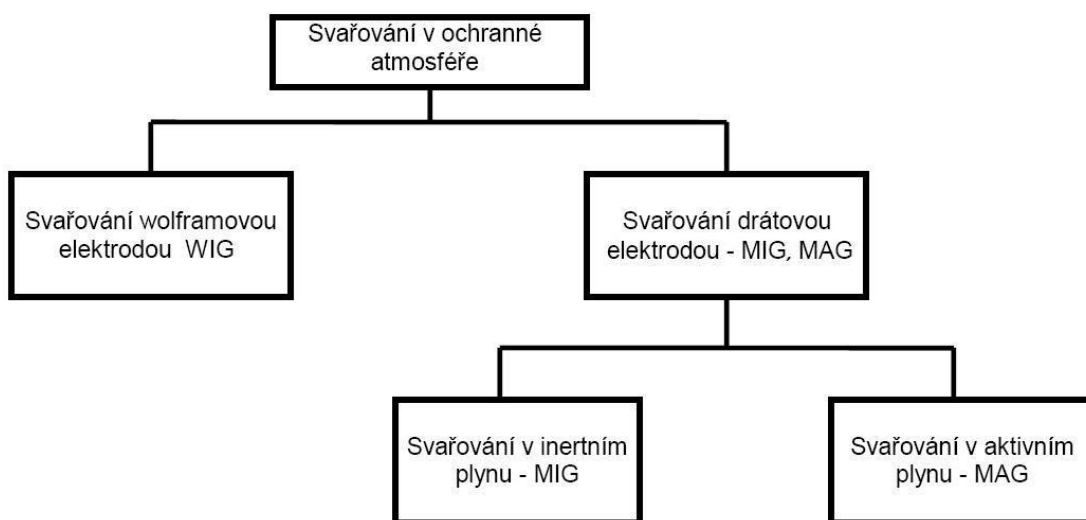
U_a – anodový úbytek napětí [V]

η_o – účinnost elektrického oblouku [–]

2.2 Princip svařování MAG

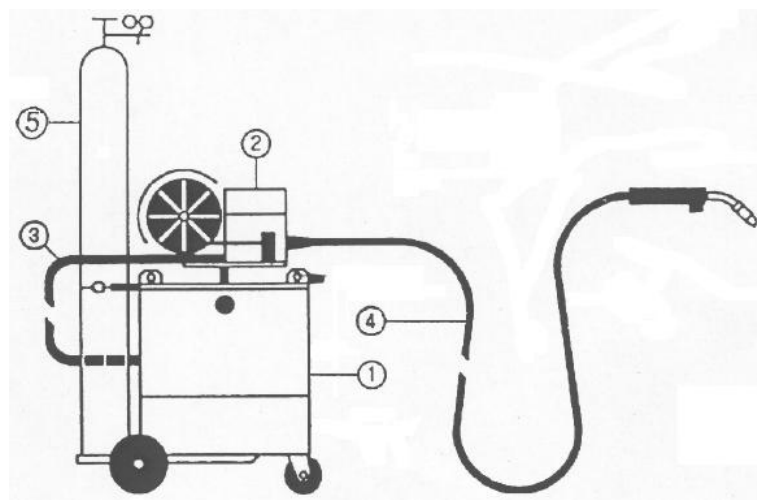
2.2.1 Charakteristika svařování MAG

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Mezi hlavní důvody rozšíření metody MAG se řadí: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení, snadná možnost mechanizace a robotizace, vysoká produktivita svařování, možnost svařování ve všech svařovacích polohách (ošetřené normou ČSN EN ISO 6947), svařování většiny materiálů atd. Podle normy ČSN EN ISO 4063 se metoda svařování MAG označuje číslem 135. Svařování v ochranných atmosférách je rozděleno na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Rozdělení metod svařování v ochranné atmosféře [5]

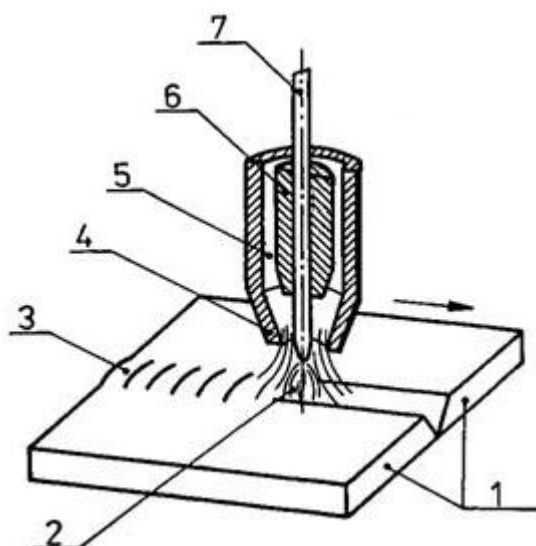
Svařovací metody MIG/MAG jsou v principu identické, liší se pouze druhem ochranného plynu. Vyvinuly se jako kombinace metody SAW (svařování pod tavidlem), odkud převzaly způsob podávání přídavného materiálu, a metody WIG (svařování wolframovou elektrodou), kde je oblouk chráněn plynem vhodného složení. Na obr. 2.3 je popsána základní sestava svařovacího zařízení pro svařování metodou MAG.



1 – Svařovací zdroj, 2 – Podavač drátu, 3 – Spojovací hadicové vedení,
4 – Ruční svařovací hořák, 5 – Plynová láhev

Obr. 2.3: Sestava svařovacího zařízení pro svařování metodou MAG [5]

Metoda svařování MAG (obr. 2.4) patří do skupiny tavného svařování. Místním natavením svarových ploch základního materiálu a odtavením přídavného materiálu (tavící se elektrody) vzniká svarová lázeň. Svarová lázeň tuhne a vytváří požadovanou fyzikální vazbu. Zdrojem tepla při svařování MAG je elektrický oblouk, který hoří mezi koncem tavící se elektrody a základním materiálem v prostředí aktivního ochranného plynu. Nejčastěji se používá v zapojení kladný pól na elektrodě a záporný pól na základním materiálu, tzn. nepřímá polarita. [8]



1 – Základní materiál, 2 – Elektrický oblouk, 3 – Svar, 4 – Hubice hořáku,
5 – Ochranný plyn, 6 – Kontaktní průvlak, 7 – Odtavující se elektroda

Obr. 2.4: Princip svařování metodou MAG [9]

Jako ochranné plyny se při svařování metodou MAG používají tzv. aktivní plyny. Aktivní plyny, např. oxid uhličitý, a směsné plyny tvořené směsí CO_2 , Ar, O_2 , H_2 se podílejí na chemických reakcích ve svarové lázni, zabezpečují ochranu svarové lázně, vysoko ohřátých částí svařovaných materiálů a konce elektrody před škodlivým účinkem okolní atmosféry. Ochranné plyny mají kromě uvedených také další funkce, např. stabilizaci oblouku, úpravu tepelného výkonu oblouku, vylepšení podmínek přenosu kovu v oblouku, zlepšení tvorby a geometrie svaru a svarové housenky. [8]

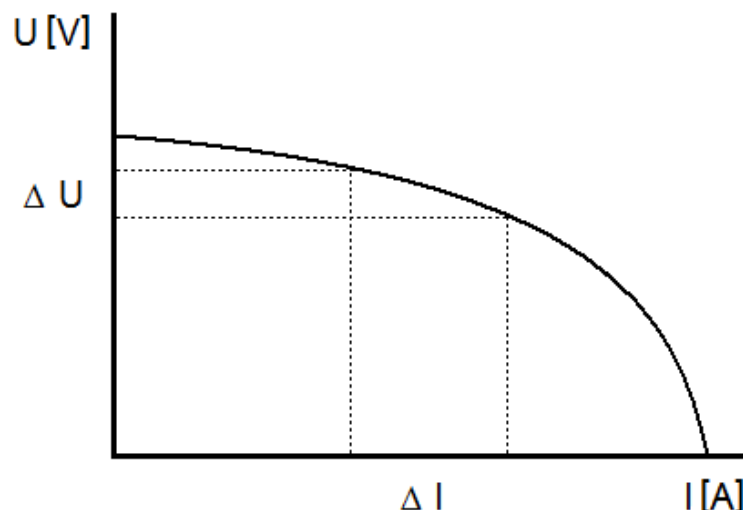
2.2.2 Elektrický oblouk metody svařování MAG

Elektrický oblouk technologie svařování MAG je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří mezi koncem tavící se elektrody a základním materiálem v prostředí aktivního plynu. Elektroda tvaru drátu nebo trubičky plněné vhodnými přísadami se posouvá do místa svaru nastavenou rychlostí.

Proces MAG je realizovatelný za podmínky, že rychlost posuvu tavící se elektrody (rychlost podávání drátu) se rovná rychlosti jejího odtavování. Svařovací zařízení proto musí automaticky reagovat na možné kolísání rychlosti podávání tavící se elektrody, nepravidelný pohyb hořáku, nerovnosti povrchu svařovaného materiálu atd. příslušnou změnou odtavovací rychlosti. Změna musí být přiměřeně velká a musí být realizována v relativně krátkém čase, jinak může dojít k různým nežádoucím jevům, např. k zatavení drátu do svaru, zatavení drátu do kontaktní špičky hořáku aj. [10]

Každý svařovací zdroj je popsán tzv. charakteristikou zdroje (statická, dynamická charakteristika). Charakteristika zdroje je křivka závislosti pracovního napětí zdroje na svařovacím proudu. Krajiné body charakteristiky jsou určeny stavem naprázdno a stavem nakrátko. Za stavu naprázdno obvodem neprotéká žádný proud a napětí zdroje je nejvyšší (napětí naprázdno). Se stoupajícím proudovým zatížením napětí na zdroji klesá. Při stavu nakrátko je elektroda v kontaktu se svařovaným materiálem a obvodem protéká nejvyšší proud (proud nakrátko – zkratový proud), napětí na zdroji se blíží nule.

Podle průběhu a strmosti charakteristiky v okolí pracovního bodu (viz kapitola 2.2.4.1) se určují charakteristické vlastnosti svařovacích zdrojů. Pro technologii svařování MAG se používají zdroje s plochou statickou charakteristikou (obr. 2.5). [11]



Obr. 2.5: Plochá charakteristika zdroje

Při použití ploché charakteristiky zdroje zůstává nastavená délka elektrického oblouku stejná za podmínky, že rychlost podávání drátu je rovna rychlosti jejího odtavování. Rychlost odtavování je závislá na velikosti svařovacího proudu, rychlost podávání drátu je konstantní. Dojde-li ke změně délky elektrického oblouku (snížení, zvýšení napětí na oblouku), svařovací zdroj s plochou charakteristikou na tuto změnu dokáže automaticky reagovat (zvýšením, snížením svařovacího proudu, resp. zvýšením, snížením odtavovací rychlosti elektrody). Tato vlastnost ploché charakteristiky zdroje se nazývá samoregulace oblouku (viz kapitola 2.2.4.1). [11]

Charakteristické znaky oblouku [6]:

- malý anodový úbytek napětí,
- malý potenciální rozdíl na elektrodách,
- proud v řádech jednotek až tisíců ampér,
- velká proudová hustota katodové skvrny,
- intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku,
- intenzivní vyzařování UV záření.

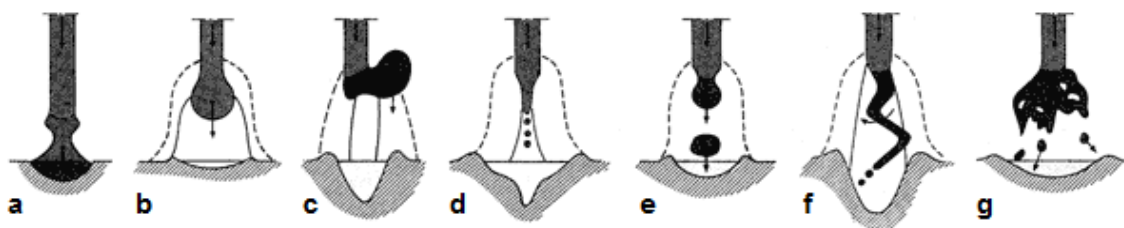
Výjimečnost elektrického oblouku při svařování metodou MAG plyne ze skutečnosti, že plynné prostředí, ve kterém dochází k trvalému elektrickému výboji, tvoří nejen ochranný plyn, ale i páry kovů přítomných v základních a přídavných materiálech. V podstatě si však zde elektrický oblouk zachovává základní charakteristiky elektrického výboje v plynech. [10]

2.2.3 Přenos svarového kovu v oblouku

Pod tímto pojmem při svařování MAG rozumíme způsob natavování konce přídavného drátu (tavící se elektrody) obloukem a popis pohybu oddělených kapek tekutého kovu od elektrody až po jejich dokonalé splnutí se svarovou lázní. Rozdělení jednotlivých typů přenosu kovu je zobrazeno na obr. 2.6. [10]

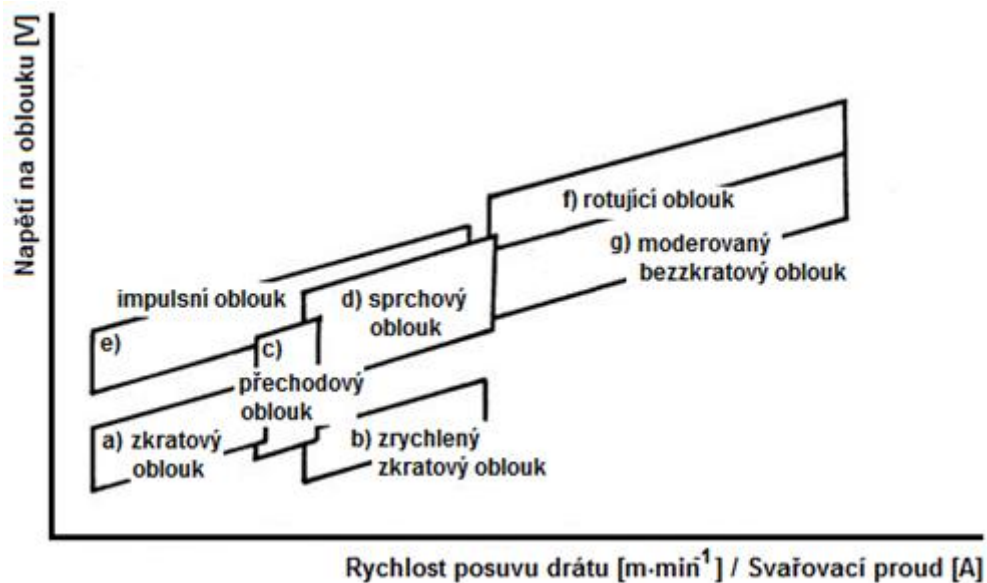
Oddělování kapek tekutého kovu od elektrody a jejich pohyb v oblouku je výslednicí působení několika sil, gravitační síly, síly povrchového napětí tekutého kovu, elektromagnetických sil apod. Podle podílu těchto sil se následně mění charakter přenosu kovu (velikost a počet oddělených kapek, rychlost a směr jejich pohybu v oblouku). [10]

Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou, závisí především na svařovacích parametrech, tj. napětí na oblouku a svařovacím proudu – rychlosti podávání drátu (obr. 2.7). Charakter přenosu kovu v oblouku také výrazně ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování. [12]



Obr. 2.6: Základní rozdělení přenosu kovu při svařování v ochranné atmosféře [13]:

- a) Oblouk se zkratovým přenosem kovu
- b) Oblouk se zrychleným zkratovým přenosem kovu
- c) Přechodový oblouk (přenos kovu nepravidelně kapkami a zkraty)
- d) Oblouk s bezzkratovým přenosem kovu (sprchovým)
- e) Impulzní bezzkratový oblouk
- f) Oblouk s rotujícím přenosem kovu
- g) Oblouk s moderovaným bezzkratovým přenosem kovu



Obr. 2.7: Oblasti přenosu kovu v oblouku [12]

Oblouk se zkratovým přenosem kovu

Zkratový přenos se uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu 60–180 A, napětí 14–22 V. Výkon navaření při těchto parametrech se pohybuje v rozmezí 1–3 kg/hod. Při zkratovém způsobu přenosu kovu dochází k přerušování oblouku zkratem, při kterém se odděluje část kovu elektrody. Tento proces souvisí se zkracující se délkou oblouku, kdy se vlivem posuvu přiblíží drát do zkratu s tavnou lázní dříve, a tím se zamezí růstu kapky kovu. Vlivem povrchového napětí taveniny se kapka kovu rovnoměrně rozptýlí ve svarové lázni. [12]

Krátkého oblouku se zkratovým přenosem kovu lze dosáhnout ve všech ochranných atmosférách. Přerušováním oblouku se do svaru vnáší menší množství tepla. Tato skutečnost má za následek snížení tepelně deformačního účinku svařování. Obecně lze říci, že tento přenos vzniká při nižších proudových hustotách.

Tento přenos bývá využíván předně pro svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, svařování polohových svarů a svařování vysokolegovaných ocelí.

Oblouk se zrychleným zkratovým přenosem kovu

Napětí u tohoto přenosu odpovídá konvenčnímu zkratovému přenosu, tj. rozsahu 14–25 V, ale proud a rychlost podávání drátu se pohybují v oblasti sprchového přenosu, tj. nad 200 A. Výkon navaření je také vyšší, 3–10 kg/hod., což také odpovídá rozsahu sprchového přenosu. [12]

Drát je vysokou podávací rychlostí tlačěn do svarové lázně pod relativně velkým úhlem sklonu hořáku. Vysoká frekvence zkratů neumožňuje dostatečně dlouhou dobu na tvorbu kapky jako u konvenčního zkratového způsobu. Odporovým teplem při dlouhém výletu drátu (25–30 mm) a vysokém proudu je konec elektrody dostatečně předeřhřátý a působením elektromagnetických sil oddělený ve svarové lázni. Vzhledem k velké vzdálenosti plynové trysky od materiálu a velkému sklonu hořáku je nutné průtok plynu zvýšit na 20–30 l/min. Svařování se uskutečňuje ve směsi Ar + 8 % CO₂. [12]

Oproti konvenčnímu zkratovému přenosu je tedy velikost kapek menší. Proces vzniká při vyšších proudových hustotách s vyšší frekvencí oddělování kapek. Zrychlený zkratový přenos kovu umožňuje svařovat s vysokým výkonem navaření a vysokou rychlostí svařování tenké plechy, kořeny svarů i polohové svary.

Přechodový oblouk (přenos kovu nepravidelně kapkami a zkraty)

Tento přenos vzniká při průměrných hodnotách oblouku. Napětí se pohybuje v rozmezí 22–28 V a proud od 190–300 A. Při přenosu se konec elektrody vlivem vysokého proudu nataví do velké kapky. Reakčním tlakem par se kapka vydouvá mimo osu drátu a oblouk putuje po roztaveném konci elektrody, až magnetické síly přeruší můstek. Kapka je vymrštěna do svarové lázně vysokou rychlostí, ale s malou frekvencí 5–40 kapek za sekundu. Přechodový oblouk se projevuje výrazněji v CO₂ (velké povrchové napětí). [12]

V tomto režimu vzniká dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty. Oblast přechodového oblouku tedy vzhledem ke své nestabilitě není vhodná pro svařování. Při nepravidelných zkratech vzniká hrubá svarová housenka a výrazně se zvětšuje rozstřík kovu.

Oblouk s bezzkratovým přenosem kovu (sprchovým)

Sprchový přenos je typický pro hodnoty svařovacího proudu od 200–500 A a napětí 28–40 V. Výkon navaření se pohybuje v rozmezí 3–12 kg/hod. a je až čtyřikrát vyšší než u zkratového přenosu. Tento typ přenosu se dá realizovat ve směsích plynů Ar s CO₂ případně O₂ nebo v čistém Ar u svařování neželezných kovů. V CO₂ nelze tento přenos vzhledem k jeho vysokým povrchovým hodnotám realizovat, protože nelze získat dostatečně drobné kapky. Pro sprchový přenos v Ar a směsi na něj bohaté (min. 80 %) je charakteristické, že díky snadné ionizaci plynu obklopuje plazma i konec tavící se elektrody, a tím se urychluje ohřev drátu, který tvoří ostrý hrot. Tomuto přispívá i předehřev drátu vlivem odporového tepla při dlouhém výletu (15× průměr drátu). Účinkem magnetického pole jsou vytvořené drobné kapky ustříženy a jsou s vysokou frekvencí vrženy do tavné lázně. [12]

Oblouk při sprchovém přenosu nezhasíná a do základního materiálu se přenáší velké množství tepla. Pro sprchový přenos je charakteristická velká hloubka závaru, která se zvětšuje s rostoucí hodnotou svařovacího proudu. Velikost (objem) tavné lázně má však negativní vliv na použití sprchového přenosu při polohovém svařování. Svarová housenka je hladká a čistá, rozstřik kovu je minimální.

Impulsní bezzkratový oblouk

Oblast svařování impulsním proudem částečně překrývá oblast zkratového i sprchového přenosu. Výkon navaření se pohybuje mezi 2–5 kg/hod. Impulsní bezzkratový přenos má pravidelný cyklus daný frekvencí amplitudy impulsního proudu. Základní proud je nízký 20–50 A a jeho funkce je udržení ionizace sloupce oblouku, a tím i vedení proudu. Nastavovaný impulsní proud je tvarově i časově řízený a v konečné fázi jeho amplitudy je zajištěno odtavování kapky přídavného materiálu. V celém průběhu amplitudy impulsního proudu hoří oblouk, který ohřívá svarovou lázeň i samostatný přídavný materiál. [12]

V dnešní době může být průběh amplitudy impulsního proudu různě tvarován, např. v závislosti na přídavném materiálu. Závislostí frekvence impulsů na proudu se udržuje velikost kapky na téměř konstantní úrovni. Pro nízký svařovací proud musí být i frekvence impulsů nízká, tak aby kapka kovu dosáhla optimální velikosti. Naopak vysoký svařovací proud vyžaduje vysokou frekvenci impulsů. Frekvence impulsů se obecně pohybuje mezi 25–500 Hz, výjimečně 1 kHz. Optimální plyn pro svařování uhlíkových

ocelí je směs Ar + 8 % CO₂ a pro nerezavějící ocel Ar + 2 % O₂, u hliníku se používá čistý Ar. [12]

Podobně jako u zkratového přenosu kovu se při svařování impulsním proudem vnáší méně tepla do svaru a tím klesá jeho tepelně deformační účinek. Svařování impulsním proudem lze využít při svařování tenkých plechů a svařování v polohách. Tento typ přenosu je dále vhodný pro svařování hliníku, jeho slitin a svařování vysokolegovaných ocelí. Vzniká jemná, pravidelná svarová housenka, bez rozstříku svarového kovu.

Oblouk s moderovaným bezzkratovým přenosem kovu

Nárůstem napětí i proudu se pracovní oblast hoření oblouku posouvá do oblasti velmi vysokých výkonů odtavování. Moderovaný bezzkratový přenos probíhá při vysokých proudech 450–750 A, při napětí 40–50 V. Vysokým parametrům svařování odpovídá i vysoká rychlost podávání drátu, která se pohybuje od 20–45 m/min a zvýšení výkonu odtavení až na 25 kg/hod. Přenos probíhá ve směsi plynu Ar + 8 % CO₂. [12]

Přenos je tvořen relativně rozměrnými kapkami kovu (velikost přibližně odpovídá průměru drátu), které jsou odtavovány s vysokou frekvencí z dlouhého volného konce elektrody. Kapky jsou působením elektromagnetického pole vysokou rychlostí urychlovány do tavné lázně, která je plazmou oblouku i dopadem kapek tvarována do hlubokého a úzkého závaru. Díky vysokým parametrům svařování může být vysoká i rychlost svařování při velké tloušťce svařovaného materiálu. [12]

Oblouk s rotujícím přenosem kovu

Parametry tohoto přenosu kovu jsou téměř shodné jako u moderovaného přenosu. Liší se ve zvýšeném napětí na oblouku až na 65 V a větší volné délce drátu nad 20 mm. Vlivem vysoké hodnoty intenzity proudu a velké volné délce je drát odporovým teplem předehevován téměř na teplotu tavení. Proud taveniny se na konci drátu zužuje do tenkého proudu, který je působením elektromagnetického pole roztáčen. Odtavující se kapky vytváří kuželovou plochu. Rotující oblouk umožňuje velmi dobrý závar do boků svarové plochy, vytváří se hluboký a široký svar. [12]

2.2.4 Parametry svařování MAG a jejich vliv na geometrii svaru

Nastavení parametrů MAG svařování je na rozdíl od ostatních obloukových metod složitější. Tento poznatek plyne z následujících skutečností [10]:

- lze použít různé průměry drátu (tavící se elektrody) pro danou velikost svařovacího proudu,
- rozsah možností proudového zatížení je pro každý průměr drátu relativně široký,
- proudové zatížení drátu se mění nejen podle průměru a chemického složení drátu, ale i podle druhu použitého ochranného plynu,
- se zvyšováním proudového zatížení drátu se zásadně mění způsob odtavování drátu (přenos kovu v oblouku).

Je patrné, že velikost svařovacího proudu je předně závislá na nastavené rychlosti podávání drátu. Mění se však i podle průměru drátu a druhu použitého ochranného plynu. Závislosti svařovacího proudu a rychlosti podávání drátu se proto uvádějí v určitých rozptylových pásmech. [10]

Elektrický oblouk svařovací technologie MAG je stabilní pouze v určitém (relativně úzkém) rozsahu svařovacího proudu a napětí na oblouku. Z tohoto důvodu je proto vždy uváděn optimální rozsah základních parametrů oblouku pro určité přesně definované podmínky svařování (druh a průměr tavící se elektrody, druh a množství ochranného plynu). [10]

Nejdůležitější nastavované veličiny, tzn. veličiny, které nejvíc ovlivňují tvar a rozměry svaru, se nazývají základní parametry svařování. Mezi tyto parametry patří:

- svařovací proud (proudová hustota),
- svařovací napětí,
- rychlost svařování.

Pomocí těchto veličin lze vyjádřit jednu z důležitých podmínek svařování, tzv. měrné vnesené teplo. Měrné vnesené teplo „q“ určuje množství vneseného tepla na jednotku délky svaru, je dáno podmínkami existence svarové lázně a celkovou tepelnou bilancí svaru s ohledem na přivedené a odvedené teplo, ztráty při přenosu a ochranu oblouku. Měrné vnesené teplo má technologický vliv na tvorbu tavné lázně a lze vyjádřit vzorcem (7).

Měrné vnesené teplo [14]:

$$q = \eta_o \cdot \frac{I \cdot U}{v_s}, \quad \left[\frac{J}{m} \right] \quad (7)$$

kde:

η_o – účinnost elektrického oblouku [–]

I – svařovací proud [A]

U – svařovací napětí [V]

v_s – rychlost svařování [$m \cdot s^{-1}$]

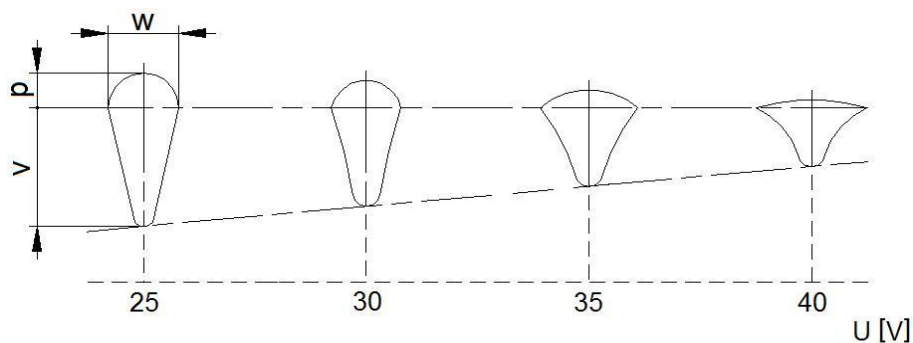
Dle velikosti měrného vneseného tepla lze dopředu zjistit rozsah tepelného ovlivnění nebo stanovit hodnoty hlavních veličin tak, aby bylo dosaženo požadovaného měrného tepelného výkonu. [15]

Krom základních (níže rozebraných) parametrů svařování ovlivňují tvar a rozměry svarů také další veličiny:

- druh a průměr drátu (tavící se elektrody),
- rychlost podávání drátu,
- polarita na elektrodě,
- výlet drátu,
- sklon drátu (hořáku) vůči povrchu svářeného materiálu,
- druh a množství ochranného plynu,
- tvar a rozměry svarových ploch,
- druh přenosu kovu v oblouku,
- teplota předehřevu základního materiálu,
- poloha svařování.

2.2.4.1 Svařovací napětí

Svařovací napětí představuje potenciální rozdíl mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně, mění se podle délky oblouku, je závislé na stupni ionizace sloupce oblouku a na odtavovací výkon má pouze malý vliv. S rostoucím napětím se zvětšuje šířka svarové lázně „w“, hloubka závaru „v“ a převýšení „p“ klesá (obr. 2.8). [12], [15]

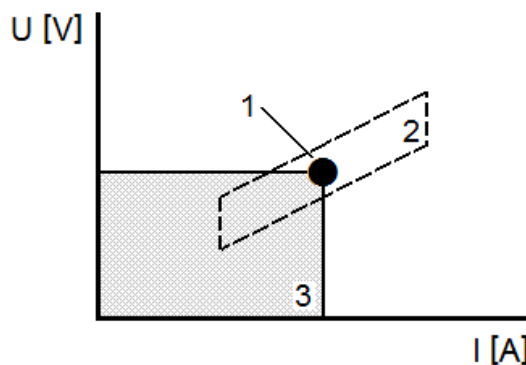


v - hloubka závaru, p - převýšení, w - šířka housenky

Obr. 2.8: Vliv napětí na oblouku na geometrii svarové lázně [15]

Napětí na oblouku má také důležitý vliv na dosažení optimálních podmínek samoregulace délky oblouku a dosažení ustáleného pracovního bodu. U této metody používané svařovací zdroje s plochou UI charakteristikou automaticky reagují na změny délky oblouku. Při zvětšení délky oblouku, resp. při změně napětí na oblouku vyvolaného změnou délky oblouku se automaticky sníží odtavovací rychlost drátu změnou svařovacího proudu. Změna proudu musí být tak velká, aby v dostatečně krátkém čase zaručila potřebnou změnu délky oblouku. V opačném případě, při zkrácení oblouku, musí zdroj zase automaticky reagovat na tuto změnu zvýšením svařovacího proudu. Čím větší je změna proudu, tím rychleji proběhne samoregulace délky oblouku. [10]

Svařovací proces je dán tzv. oblastí stability oblouku (obr. 2.9). Protože je napětí závislé na velikosti proudu, jeho hodnotu nelze nastavit předem a nastavuje se pouze napětí naprázdno „ U_0 “. Toto napětí zpravidla po zapálení oblouku klesne na hodnotu odpovídající velikosti proudu při daném odporu obvodu. Pro stabilní proces svařování je nutné, aby se toto výsledné napětí dostalo do uvedené toleranční oblasti pracovního pole (oblast 2). K snadnějšímu nalezení pracovního bodu (bod 1) byly vypracovány grafy pracovních oblastí pro určité kombinace vstupních parametrů. Svařovací zdroj tak sám na základě vstupních podmínek upravuje další parametr svařování (napětí, rychlost drátu) dle předem nastaveného parametru, tak aby byl proces svařování pro zvolený tepelný výkon (oblast 3) stabilní. [16]



Obr. 2.9: Pracovní bod a oblast svařování [16]

Nadměrně vysoké napětí zvyšuje délku oblouku a propal prvků ve svarové lázni. Čas styku kapky s obloukem se prodlužuje. Důsledkem toho je zintenzivnění metalurgických reakcí, které ovlivňují složení svarového kovu a tím změny mechanických vlastností spoje. Svary jsou náchylné na pórovitost a zvyšuje se rozstřík. Svarová lázeň je široká, mělká a vzniká nebezpečí předbíhání svarové lázně před oblouk. Příliš nízké napětí má za následek nestabilitu svařovacího procesu, vzniká úzká svarová lázeň s velkým převýšením (především při vysokých rychlostech svařování). Při nízkém napětí nedochází k dokonalému natavení svarových hran a při vícevrstvě svařování dochází k výskytu studených spojů. [12], [15]

Změnami napětí se ovlivňuje tvar a rozměry oblouku. Napětí se může měnit pouze v omezeném rozsahu a má výrazný vliv na typ přenosu kovu v oblouku. Na zdroji svařovacího proudu se napětí nastavuje na hodnoty odpovídající podmínkám stabilního hoření oblouku při daném proudu. Hodnotu napětí při svařování lze přibližně nastavit dle vztahu (8).

Svařovací napětí [17]:

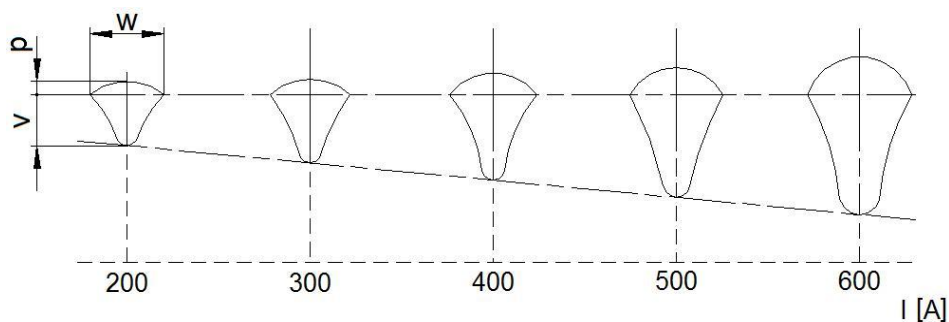
$$U = 15 + 0,035 \cdot I, \quad [V] \quad (8)$$

kde:

I – svařovací proud [A]

2.2.4.2 Svařovací proud

Svařovací proud má na charakter přenosu kovu při svařování a tvar průřezu svarové lázně největší vliv. S růstem proudu roste proudová hustota, velikost a tekutost svarové lázně, součinitel tavení a odtavovací výkon. [12], [15]



v - hloubka závaru, p - převýšení, w - šířka housenky

Obr. 2.10: Vliv svařovacího proudu na geometrii svarové lázně [15]

Při konstantním napětí nastává zvyšováním proudu výrazný růst hloubky závaru „v“, mírný nárůst převýšení „p“ a malé zvětšení šířky svarové lázně „w“ (obr. 2.10).

Svařovacím proudem se výrazně ovlivňuje charakter přenosu kovu v oblouku [12]:

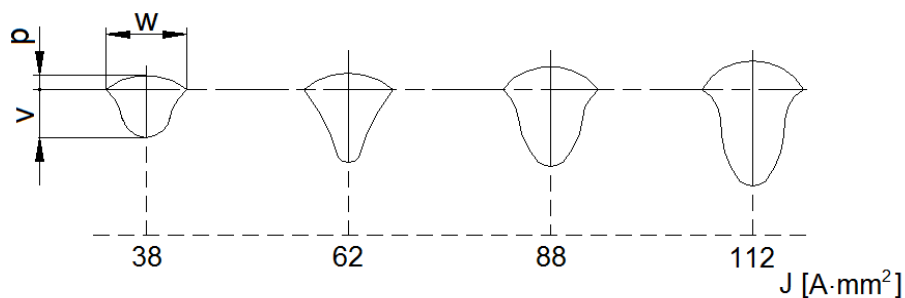
- růstem proudu roste frekvence kapek,
- intenzita proudu podle složení ovlivňuje síly, které působí na kapky kovu,
- růstem proudu se u běžných typů přenosů kovu zmenšuje objem kapek.

Z hlediska kvality svaru je výhodnější menší průměr drátu, dává větší počet drobných kapek a kvalita povrchu svarové housenky je velmi dobrá. Z hlediska směrové stability výletu drátu a ekonomických nákladů je výhodnější větší průměr, protože vychází levněji. Tohoto lze využít u pulzního svařování, kde rozměr kapek je řízen vlastním procesem svařování. [12]

Při nadměrném zvyšování proudu vzrůstá rozstřík kovu a také roste možnost nebezpečí protavení svařovaného materiálu.

2.2.4.3 Proudová hustota

Proudová hustota vyjadřuje proudové zatížení drátu s ohledem na jeho průřez, roste se zmenšováním průměru drátu. Vliv proudové hustoty na charakter svařování a tvar svarové lázně je podobný, jako je vliv proudu. S růstem proudové hustoty při konstantním napětí roste výkon odtavení drátu i hloubka závaru „ v “. [12], [15]



v - hloubka závaru, p - převýšení, w - šířka housenky

Obr. 2.11: Vliv proudové hustoty na geometrii svarové lázně [15]

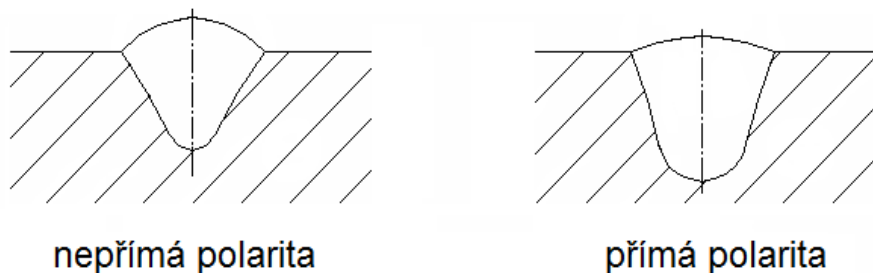
Zmenšením proudové hustoty vzrůstá šířka svarové lázně „ w “, klesá hloubka závaru „ v “ i převýšení „ p “ (obr 2.11). Proudovou hustotou se ovlivňuje podíl základního materiálu ve svarovém kovu. Čím menší je průměr drátu, tím lépe lze koncentrovat oblouk do určitého místa. Pro každý průměr drátu existují omezené horní a dolní hranice proudové hustoty. [15]

2.2.4.4 Druh a polarita svařovacího proudu

Při svařování metodou MAG se nejčastěji používá stejnosměrný proud a nepřímá polarita (elektroda na kladném pólu, základní materiál na záporném pólu zdroje). Při tomto zapojení se tvar průřezu svarové lázně vyznačuje zvýšenou hloubkou závaru „ v “, malým převýšením „ p “ a relativně širší svarovou lázní „ w “ (obr 2.12). Vznikající teplo ve sloupci oblouku se z 1/2 spotřebovává na natavování základního materiálu a z 1/2 na natavování přídavného materiálu (elektrody). [12]

Naopak při zapojení přímou polaritou (elektroda na záporném pólu, základní materiál na kladném pólu zdroje) se hloubka závaru „ v “ zmenšuje, stejně tak šířka svarové lázně „ w “, převýšení „ p “ roste (obr 2.12). Teplo vznikající ve sloupci oblouku se přibližně ze 2/3 spotřebovává na natavování základního materiálu a z 1/3 na natavování přídavného materiálu. Při této polaritě se však u plného průřezu drátu tvoří na jeho konci

rozměrná a stabilní kapka, to se projevuje zvýšeným rozstříkem. Přímá polarita bývá často používána pro navařování. [12]

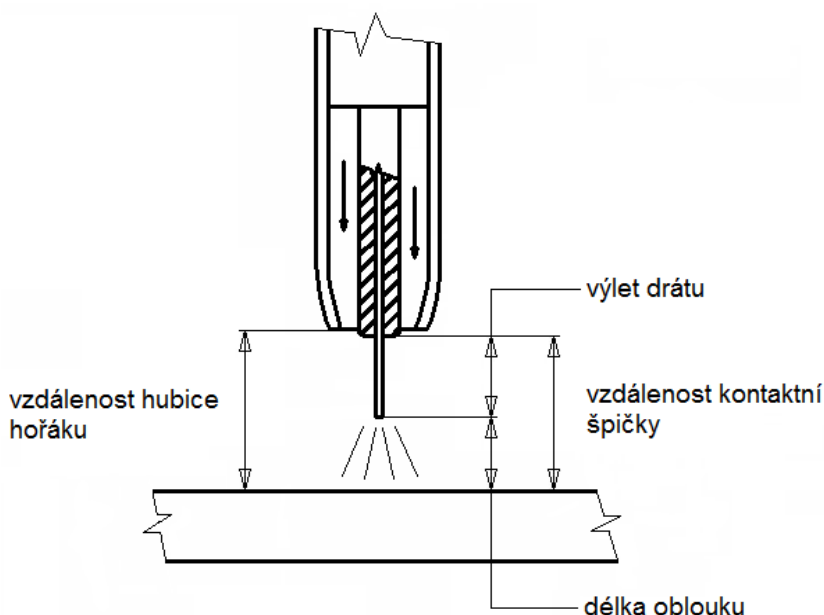


Obr. 2.12: Porovnání tvaru svarové lázně při rozdílném zapojení

Na tvar průřezu svaru má také vliv místo připojení záporného pólu zdroje. Dle místa připojení záporného pólu na svarek se projevuje odklon oblouku jak v osovém, tak v kolmém směru svaru a může se podílet na deformaci průřezu svaru. [15]

2.2.4.5 Volná délka drátu – výlet drátu

Volná délka drátu se měří od konce kontaktní špičky po oblouk (obr 2.13). Skutečnou délku výletu drátu ovlivňuje typ přenosu kovu a použitý ochranný plyn.



Obr. 2.13: Volná délka drátu [14]

Výlet drátu je důležitou veličinou tavného výkonu. Tavný výkon se skládá ze dvou složek. První je oblouk – anodový úbytek napětí „ U_a “ na velmi malé plošce tenké vrstvičky konce drátové elektrody – anodové oblasti, na kterou dopadá proud elektronů, emitovaných katodou. Druhý je odpor konce drátu „ R “, kterým je proud veden od kontaktní špičky po anodovou oblast – výlet drátu „ L_d “. Tavný výkon lze vypočítat ze vztahu (9). [14]

Tavný výkon [16]:

$$P_{Tav} = Q_{obl} + Q_{el} = I \cdot U_a + I^2 \cdot R = I \cdot U_a + I^2 \cdot \rho \cdot \frac{L_d}{d^2}, \quad [W] \quad (9)$$

kde:

Q_{obl} – teplo na oblouku [J]

Q_{el} – teplo na elektrodě [J]

I – svařovací proud [A]

U_a – anodový úbytek napětí [V]

R – odpor konce drátu [Ω]

ρ – měrný odpor (rezistivita) [$\Omega \cdot m$]

L_d – výlet drátu [mm]

d – průměr drátu [mm]

Z předchozího vztahu vyplývá, že vyšší tavný výkon lze získat nejen zvýšením proudu nebo zmenšením průměru drátu (tj. zvýšením intenzity proudu), ale do jisté míry také zvětšením výletu drátu. [14]

Při nastavování vyložení drátu je doporučeno vycházet ze vztahů (10), (11), při nastavení vzdálenosti kontaktní špičky od základního materiálu pak ze vztahů (12), (13). [12]

Volná délka drátu [12]:

$$\text{pro CO}_2: \quad L_d = 5 + 5 \cdot d, \quad [mm] \quad (10)$$

$$\text{pro směsné plyny:} \quad L_d = 7 + 5 \cdot d, \quad [mm] \quad (11)$$

kde:

d – průměr drátu [mm]

Vzdálenost kontaktní špičky [18]:

$$\text{pro zkratový přenos kovu: } L_p = (10 \cdot d) + 1, \text{ [mm]} \quad (12)$$

$$\text{pro bezzkratový přenos kovu: } L_p = (10 \cdot d) + 3, \text{ [mm]} \quad (13)$$

kde:

d – průměr drátu [mm]

Se změnou vzdálenosti kontaktní špičky a svařovaného materiálu nebo změnou podávání rychlosti drátu lze výlet drátu i délku oblouku měnit. Při zvyšování rychlosti podávání drátu zvětšujeme výlet drátu na úkor délky oblouku. Naopak při snižování vzdálenosti špičky snižujeme výlet drátu, délka oblouku je dána napětím. Svařovací proud klesá se zvyšující se vzdáleností špičky od materiálu a důsledkem tohoto poklesu je menší průvar. Snižování proudu je způsobeno odporovým ohřevem drátu. [12], [14]

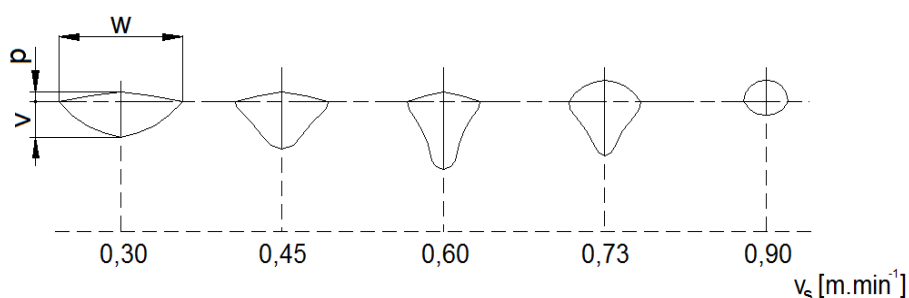
Při nadměrné délce výletu drátu se zhoršují podmínky plynové ochrany, roste rozstřík. Také v tomto případě klesá směrová stabilita drátu, zejména použije-li se tenký drát. Malý výlet drátu zvětšuje hloubku závaru, ale také zvyšuje tepelné namáhání kontaktní koncovky hořáku. [15]

Délka oblouku určuje rozdělení proudu a tlaku na povrchu svarové lázně. Tyto hodnoty pak určují její tvar a velikost. Příliš krátký oblouk způsobuje zkrat elektrody se svarovou lázní, nižší tavení základního materiálu, vysoký a úzký závar, nerovnoměrné vnášení tepla a větší možnost výskytu vad. Dlouhý oblouk způsobuje plochý, mělký závar, zvyšuje rozstřík a může způsobit pórovitost turbulencí vzduchu. [14]

2.2.4.6 Rychlost svařování

Rychlost svařování je dalším ze základních parametrů svařování MAG, působí opačně než svařovací proud a napětí na oblouku. Zvyšováním rychlosti svařování se zmenšuje tepelný příkon svařování na jednotku délky svaru, rychleji se odevzdává teplo a zmenšuje se teplo potřebné pro předehřev svarových ploch. Toto má vliv nejen na tvar a rozměry tavné lázně a tím na tvar a rozměry svaru, ale i na podmínky jeho ochlazování (zvyšuje se rychlost ochlazování svaru). [10], [15]

Při ručním svařování MAG se rychlost svařování pohybuje v rozmezí 100–600 mm·min⁻¹. Při strojním svařování může rychlost svařování dosáhnout hodnoty 1200 mm·min⁻¹. [10]



v - hloubka závaru, p - převýšení, w - šířka housenky

Obr. 2.14: Vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně [15]

S klesající rychlostí svařování se zvětšuje šířka svarové lázně „w“ a roste převýšení svaru „p“ (obr 2.14). S rostoucí rychlostí svařování se mírně zvětšuje hloubka závaru „v“, a to až do takové hodnoty svařovací rychlosti, při které se ještě svarové plochy stačí natavovat. Po překročení této hodnoty velikost závaru naopak klesá. Maximální závar lze v závislosti na ostatních veličinách určit pouze experimentálně pro konkrétní případ. Šířka svarové lázně „w“ se s dalším růstem rychlosti svařování výrazně zmenšuje, převýšení svaru „p“ se zvyšuje. Při vysokých rychlostech svařování vznikají dokonce vruby mezi svarem a základním materiálem, dále svařovací rychlost ovlivňuje rozložení napětí a deformace ve svařenci. [10], [15]

Rychlost svařování se také podílí na tepelných poměrech ve svarové lázni. Tyto poměry mají následně vliv na tvar a rozměry svaru. Rychlost svařování má rozhodující vliv na účinnost tavení materiálu. Určuje, jaké poměrné množství tepla se využije přímo na tavení materiálu. Zvýšením rychlosti svařování při poměrném zvýšení intenzity proudu se podíl tepla využitého pro tavení materiálu zvyšuje. Efekt svařovací rychlosti lze vysvětlit tak, že čím se zdroj tepla pohybuje při tavení základního materiálu rychleji, tím kratší je čas pro odvádění tepla do základního materiálu a tím je i vyšší účinnost tavení. Účinnost tavení závisí na bezrozměrném poměru $a/v_s \cdot w$, kde „a“ je součinitel teplotní vodivosti základního materiálu, „v_s“ je rychlost svařování a „w“ je šířka svarové lázně. Při svařování vyššími rychlostmi do způsobu přenosu tepla také výrazně zasahuje vliv proudění ve svarové lázni (viz kapitola 2.2.5 a kapitola 2.2.6). [19]

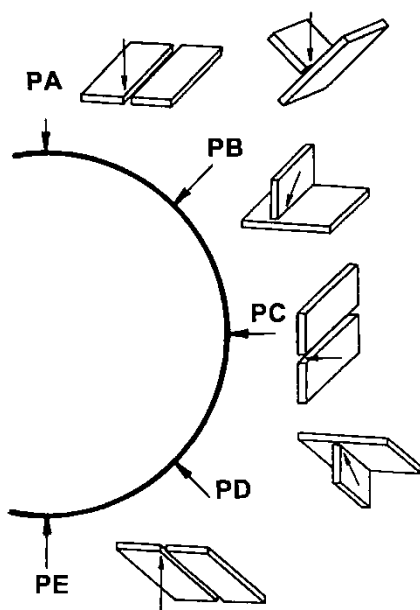
2.2.4.7 Ostatní parametry svařování

Průměr drátu

Všeobecně platí, že větší průměr drátu vyžaduje větší svařovací proud. Při použití menšího průměru drátu a stejného svařovacího proudu je součinitel tavení větší. Tenké dráty dávají při konstantním svařovacím proudu jak při krátkém, tak při dlouhém oblouku větší počet kapek přenášených do oblouku. Toto se příznivě projevuje při vícevrstvých a kořenových svarech, kdy je pomocí zvýšeného počtu kapek možné dosáhnout větší hladkosti povrchu housenek při menším proudu. Při výběru drátu s ohledem na jeho průměr lze vycházet z tloušťky svařovaného materiálu, druhu spoje a polohy svařování. [15]

Poloha a technika svařování

Pro potřeby technologických postupů a eliminaci možných nedorozumění při slovním pojmenování poloh svařování jsou polohy svařování označovány normalizovanými značkami (obr. 2.15). Značky jsou dané normou ČSN EN ISO 6947.



Obr. 2.15: Označování poloh svařování [1]

- PA – poloha vodorovná shora (vodorovný směr svařování, svislá osa svaru)
- PB – poloha vodorovná šikmo shora (vodorovný směr svařování, šikmá osa svaru)
- PC – poloha vodorovná (vodorovný směr svařování, vodorovná osa svaru)
- PD – poloha vodorovná šikmo nad hlavou (vodorovný směr svařování, nad hlavou, šikmá osa svaru)
- PE – poloha vodorovná nad hlavou (vodorovný směr svařování, nad hlavou, svislá osa svaru)
- PF – poloha svislá nahoru (svislý směr svařování zdola nahoru)
- PG – poloha svislá dolů (svislý směr svařování shora dolů)

Vyjma svařování v základní poloze „PA“ se u ostatních poloh svařování objevují různá omezení, u těchto poloh pak nelze použít stejných svařovacích parametrů jako u této základní polohy. Od určité hranice tepelného výkonu se již do svaru přivádí tak velké množství přídavného materiálu a tepla, že vzniká svarová lázeň velkého objemu. Ve svarové lázni mohou převládnout gravitační síly, síly povrchového napětí a ostatní síly působící v oblouku již nemusí svarovou lázeň udržet na svařovaných plochách, roztavený kov může mít tendenci stékat.

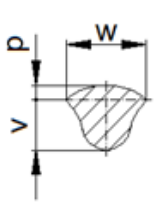
Rozlišujeme tři základní svařovací techniky:

- svařování vpřed,
- svařování vzad,
- vertikální svařování.

Při svařování vpřed teplo působí na větší plochu základního materiálu. Svarové plochy základního materiálu se tak lépe předehtřívají a zvětšuje se objem nataveného kovu. Při svařování vzad je roztavený kov vtlačován do svarové lázně. Při vertikálním svařování se dosahuje přibližně průměrných hodnot mezi svařováním vpřed a svařováním vzad. Vliv techniky svařování na geometrii svarové lázně je uveden v tabulce 2.1.

Tab. 2.1: Vliv směru svařování na tvar, rozměry a vady svaru [15]

Směr svařování	Vpřed	Vzad
Hloubka závaru „v“	klesá	roste
Šířka housenky „w“	roste	klesá
Převýšení „p“	klesá	roste
Náchylnost k pórům	roste	klesá
Náchylnost k neprůvaru	roste	klesá



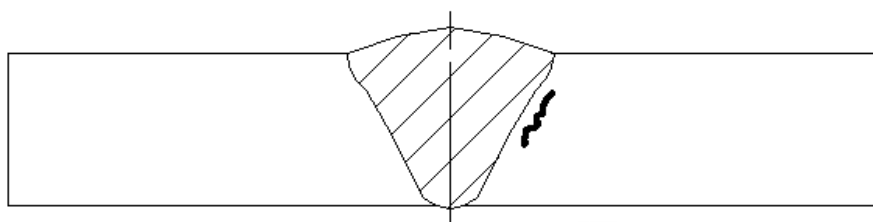
Vliv složení základního a přídavného materiálu

Volba druhu přídavného materiálu je závislá předně na druhu materiálu základního, na použitém typu ochranné atmosféry, svařovacích parametrech a na požadovaných konečných vlastnostech svarového spoje. Tvar průřezu svaru ovlivňuje teplota základního materiálu, přídavného materiálu a tepelná vodivost. Při svařování nelegovaných, resp. nízkolegovaných ocelí jsou rozdíly vlastností malé. U vysokolegovaných austenitických materiálů se následkem menší tepelné vodivosti musí korigovat svařovací proud. Při svařování vysokolegovaných, nízkolegovaných nebo střednělegovaných ocelí se již projevuje změna viskozity svarové lázně. [15]

Vliv předehřevu

Vliv vneseného tepla se projevuje na viskozitě svarové lázně. Při použití předehřevu se svarové plochy natavují tak, jako by bylo použito většího svařovacího napětí, svařovacího proudu atd.

Použitím předehřevu se sice zvyšuje množství vneseného tepla do větší vzdálenosti od svaru, ale také se snižuje rychlost odvodu tepla. Snížením rychlosti odvodu tepla z tepelně ovlivněné oblasti klesá možnost vzniku trhlin a redukuje se napjatost ve svarovém spoji. Trhliny (obr. 2.16) mohou vzniknout v tepelně ovlivněné oblasti, ale i ve svarovém kovu. Zvýšením okolní teploty se také sníží množství měrného vneseného tepla potřebného pro vytvoření svarové lázně.



Obr. 2.16: Trhliny ve svarovém spoji [20]

Obecně předehřev základního materiálu zvětšuje šířku svaru a hloubku průvaru, naopak zmenšuje převýšení svaru. Předehřevem svařované součásti před svařováním se také podstatně vylepšuje kresba svarové housenky. [10]

2.2.5 Účinnost tavení a přestup tepla

Jak již bylo zmíněno, obloukové svařování je intenzivním lokálním ohřevem materiálu, kdy určitá část přivedené energie je přímo využita na tavení materiálu.

Celková účinnost tavení – η_T

Celková účinnost tavení (podíl energie zdroje využitého k tavení) se pro tavenou elektrodu dá vyjádřit rovnicí (14).

Celková účinnost tavení [14]:

$$\eta_T = 1 - \frac{((1 - n) \cdot q_p + m \cdot q_w)}{U \cdot I}, \quad [-] \quad (14)$$

kde:

- n – energie vyzářená a odvedená ze sloupce oblouku (přenesená do materiálu) [J]
- q_p – teplo vyzářené a odvedené obloukem [J]
- m – energie odvedené materiálem pryč [J]
- q_w – podíl tepla absorbovaný materiálem [J]
- U – svařovací napětí [V]
- I – svařovací proud [A]

Účinnost přenosu tepla obloukem – η_a

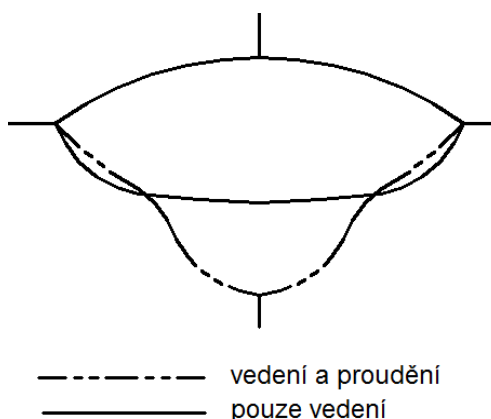
Energie elektrického oblouku je vnesena do svaru s určitou intenzitou a účinností. Intenzita proudu závisí na rozdělení hustoty proudu oblouku na povrchu materiálu. Účinnost přenosu se v rámci jedné obloukové technologie s velikostí proudu výrazně nemění a pro technologii MAG je „ η_a “ v rozsahu $0,84 \pm 0,04$. Zbytek se ztrácí radiací a vedením do plynného okolí. [14]

Účinnost tavení materiálu η_m při přenosu tepla vedením

Energie dodaná svaru se dělí na dvě části. Hlavní část energie je použita pro tavení svarové lázně a její podíl je účinností tavení „ η_m “. Zbytek je rozptýlen v okolním základním materiálu zejména vedením tepla. Má podíl na velikosti tepelně ovlivněné zóny materiálu a předehtěvu. Účinnost tavení je dána především fyzikálními vlastnostmi materiálu. Na těchto vlastnostech závisí způsob vytváření tavné lázně, jejímž prostřednictvím se teplo přenáší formou vedení a proudění. [14]

Účinnost tavení materiálu η_m při přenosu tepla prouděním

Přenos tepla ve svarové lázni prouděním výrazně zvyšuje účinnost přenosu tepla a pro určení výsledné geometrie svaru má velký význam.



Obr. 2.17: Simulace tvaru svarové lázně [14]

Vliv přenosu tepla prouděním v tavné lázni ještě stále není dostatečně probádán. Tento typ přenosu nastává až při vysokých hodnotách rychlosti a výkonu svařování, při menších rychlostech a výkonech svařování je přenos tepla řízen převážně vedením, vliv proudění je zanedbatelný. Na obr. 2.17 je srovnání simulace geometrie svarové lázně s uvažováním pouhého vedení tepla a následně s uvažováním vlivu proudění. Vlivem dostředného proudění svarové lázně se přenáší teplo ke kořenu svaru mnohem efektivněji než vedením. [14]

2.2.6 Vedení a proudění ve svarové lázni

Vliv zdroje a vlastností materiálu na Marangoniho proudění byl tedy zkoumán experimentálně. Marangoniho proudění působí radiálně ve směru gradientu teploty. Převažující směr a síla proudění byly zkoumány s použitím působení proměnlivě zaostřeného paprsku laseru na dvě látky s velmi rozdílným Prandtlovým a Pecletovým číslem. Prandtlovo číslo udává vzorec (15), Pecletovo číslo pak vzorec (16). [14], [16]

Prandtlovo číslo [16]:

$$Pr = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda}, \quad [-] \quad (15)$$

kde:

η – dynamická viskozita [Pa·s]

c_p – měrná tepelná kapacita při stálém tlaku [J·kg⁻¹·K⁻¹]

λ – součinitel tepelné vodivosti [W·m⁻¹·K⁻¹]

Pecletovo číslo [16]:

$$Pe = \frac{r_L \cdot V}{a}, \quad [-] \quad (16)$$

kde:

r_L – poloměr povrchu lázně [m]

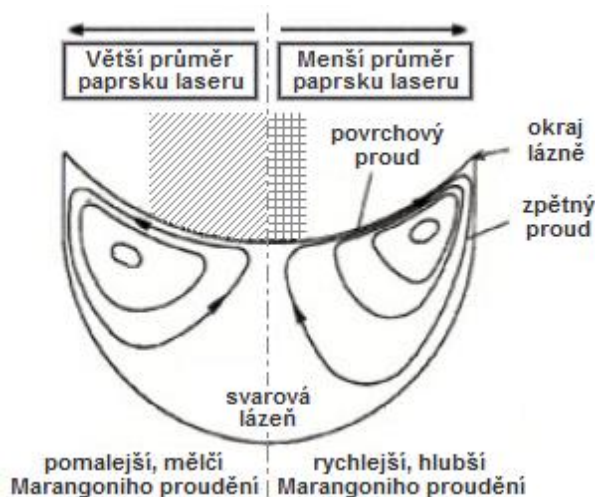
V – maximální povrchová rychlost proudění [m·s⁻¹]

a – součinitel teplotní vodivosti [W·m⁻²·K⁻¹]

Bylo zjištěno, že především Pecletovo číslo vyjadřuje nejlépe poměr přenosu tepla prouděním a vedením a je nejlepším ukazatelem vlivu proudění na tvar svarové lázně. Čím je vyšší, tím dominantnější je vliv Marangoniho proudění. Rozdíl teplot svarové lázně uprostřed a na okraji vytváří rozdíl intenzity povrchového napětí, v jejímž směru tavenina proudí na povrchu svarové lázně, až dosáhne okraje. Na okraji se stáčí směrem dolů, vzniká široký závar s plochým, někdy až konvexním dnem. [16], [21]

Je-li „Pe“ mnohem větší než 1, přenos tepla je ve svarové lázni primárně řízen prouděním, vedení tepla je zanedbatelné. Naopak, pokud je „Pe“ mnohem menší než 1 (např. u kovů s vysokou tepelnou vodivostí při nízké rychlosti proudění ve svarové lázni), převažuje v povrchových vrstvách vliv vedení. Větší je rychlost proudění na povrchu než

rychlost zpětného proudění, takže střed víru je blíže povrchu a okraje svarové lázně. Příklad směru a velikosti Marangoniho proudění v tavné lázni pro paprsek laseru je uveden na obr. 2.18. Čím je tento paprsek užší a čím má vyšší intenzitu, tím je Marangoniho proudění rychlejší. Zvýšení výkonu paprsku snižuje hloubku proudění, zatímco zúžení paprsku ji zvyšuje, neboť zvyšuje moment zpětného proudění. [14], [19]



Obr. 2.18: Vliv rozměru paprsku na směr a velikost proudění [14]

Dále byl zkoumán vliv povrchově aktivních látek. Materiál s maximálním „Pe“ a příměsí povrchově aktivní látky, která obrací gradient povrchového napětí, mění směr Marangoniho proudění na dostředné. Nejdůležitějšími povrchově aktivními látkami při svařování jsou kyslík a síra. I když s teplotou povrchové napětí čistého kovu klesá, vlivem obsahu kyslíku (síry) povrchové napětí svarové lázně s teplotou stoupá, což způsobuje již popsaný efekt obrácení směru Marangoniho proudění. Většina čistých kovů má záporný teplotní gradient povrchového napětí a z toho plynoucí odstředný směr Marangoniho proudění. [14]

2.3 Ochranné plyny pro svařování MAG

2.3.1 Funkce ochranných plynů

Ochranné plyny plní tyto základní funkce [8]:

- Zabezpečují ochranu konce tavící se elektrody, svarové lázně a základního materiálu ohřátého na vysokou teplotu před škodlivými účinky okolní atmosféry, resp. vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků, a také vodíku, který se podílí na tvorbě dutin, rozstříku tekutého kovu, trhlin za studena, vloček, lesklých plošek a mimo jiné zhoršuje plastické vlastnosti kovu.
- Svojí ionizační schopností vytvářejí příznivé prostředí pro zapálení a hoření elektrického oblouku, odtavování přídavného materiálu, tvorbu svaru a stabilitu svařovacího procesu.

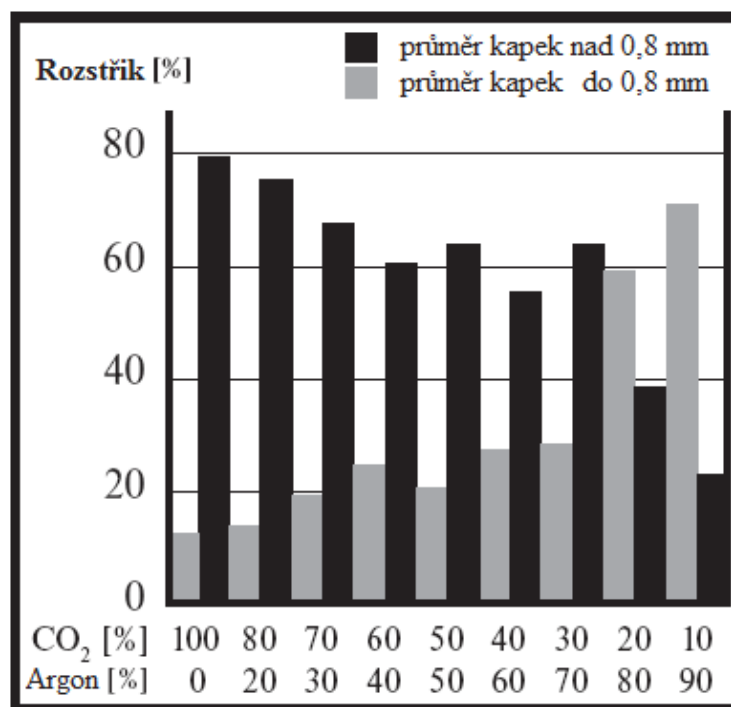
Ochranné plyny svým složením a množstvím ovlivňují celou řadu svařovacích charakteristik. Mají také významný vliv na typ přenosu kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování a další parametry svařování. [9]

2.3.2 Rozdělení a důsledky ochranné atmosféry na proces svařování

Ochranná atmosféra svařování má vliv nejen na geometrii svarové lázně, ale také na kvalitu svarového spoje. Neméně důležité je i nastavení množství přiváděného plynu. Malé množství přiváděného plynu totiž způsobuje nedostatečnou ochranu svarové lázně a její znečištění okolním vzduchem. Příliš velké množství přiváděného plynu může mít naopak vliv na přisávání okolního vzduchu do ochranné atmosféry, neboť může vzniknout turbulentní proudění. [22]

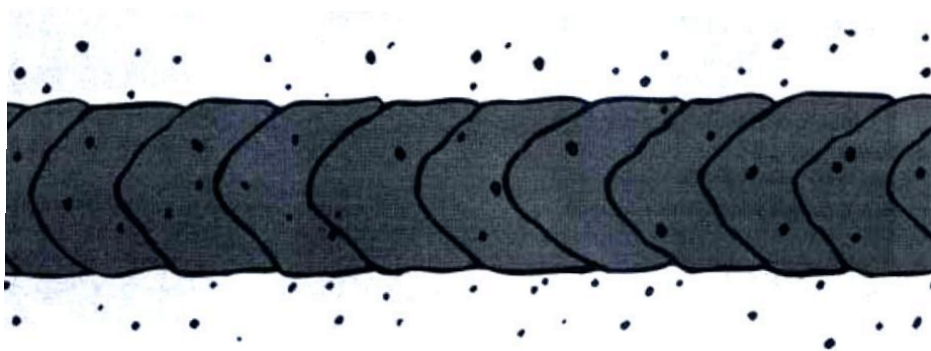
Jako ochranný plyn pro metodu MAG se používá čistý plyn oxid uhličitý (CO_2) nebo směsné plyny se základem argonu ($\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$). Je zřejmé, že vlastnosti čistých plynů se často a s výhodou využívají u směsných plynů, protože kombinací plynů lze optimálně využít jejich pozitivních vlastností a naopak negativní vlastnosti eliminovat.

Na obr. 2.19 je porovnán rozstřík svarového kovu při použití různého poměru Ar a CO_2 .



Obr. 2.19: Porovnání rozstříku svarového kovu při použití Ar a CO₂ [23]

Rozstřík svarového kovu (obr. 2.20) může vzniknout z mnoha příčin: použitím příliš velkého svařovacího proudu, dlouhým obloukem, nesprávnou polaritou, vlhkostí, nečistotami na svařovaných plochách apod. Menší rozstřík má za následek snížení spotřeby přídatného materiálu a také snížení nákladů spojených s konečnou úpravou svaru.

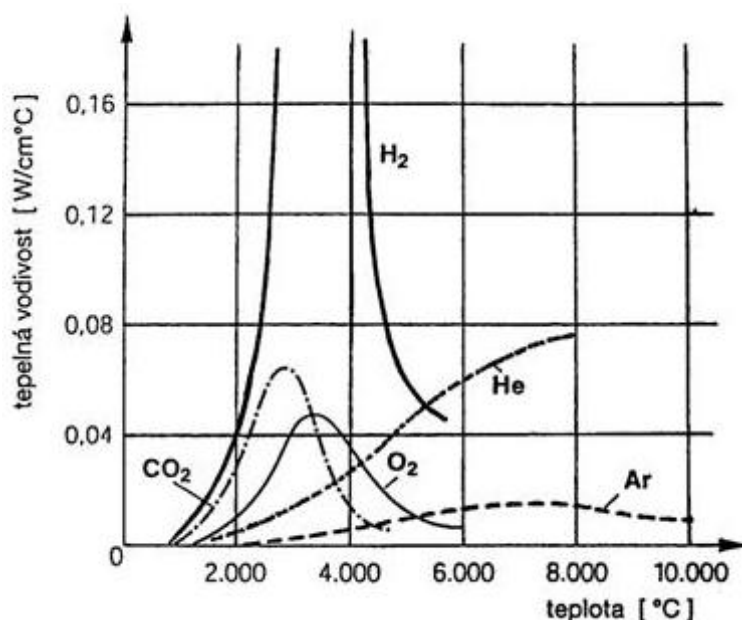


Obr. 2.20: Rozstřík svarového kovu [20]

Ochranné (technické) plyny pro svařování se rozdělují do několika skupin, které jsou dány normou ČSN EN 439. Dále se také dělí podle počtu základních (Ar, CO₂) a přidávaných (He, O₂) složek.

2.3.2.1 Vliv plynů na přenos tepla a profil svarové lázně

Tepelná vodivost ochranných plynů není stálá (obr. 2.21), má výrazný vliv na přenos tepla do svaru a tím také na profil svarové lázně.



Obr. 2.21: Tepelná vodivost plynů [24]

Tepelná vodivost atmosféry oblouku způsobuje tepelné ztráty od jeho středu k obvodu, proto je nejteplejší částí oblouku jádro. Při svařování v ochranných plynech s nízkou tepelnou vodivostí (argon) je jádro úzké a má vysokou teplotu. Naproti tomu při svařování v ochranných plynech s vysokou tepelnou vodivostí (oxid uhličitý) je teplo intenzivněji odváděno z jádra k obvodu, proto je jádro oblouku daleko širší a svarová lázeň má čočkovitý tvar. Při použití čistého oxidu uhličitého je přenos tepla velmi dobrý, což přispívá k dosažení hlubokého a širokého profilu oválné svarové housenky. Při vyšších svařovacích parametrech hrozí nebezpečí vzniku vrubů a při velkých ochlazovacích rychlostech mohou ve středu svaru vznikat trhliny. [12], [25]

Rozsah použití konkrétního ochranného plynu je dán hlediskem kvality, celistvosti svaru nebo návaru, požadovanými mechanickými vlastnostmi svarového spoje, ekonomickým hlediskem apod.

2.4 Přídavné materiály pro metodu svařování MAG

2.4.1 Funkce přídavných materiálů

Přídavné materiály plní při svařování MAG tyto hlavní funkce [8]:

- doplňují objem svarové lázně a zabezpečují tak požadovaný tvar a průřez svaru,
- nahrazují prvky, které se při svařování vypálí nebo jiným způsobem sníží svoji koncentraci ve svaru,
- zabezpečují dodávku vhodných legujících či dezoxidačních přísad s cílem vylepšit užité vlastnosti svarového kovu.

Mají-li přídavné materiály plnit dané funkce, musí mít tyto vlastnosti [8]:

- vhodné složení,
- vhodný průřez,
- vysokou čistotu a hladkost povrchu,
- přiměřenou tuhost a tvrdost,
- požadované rozměrové a tvarové tolerance.

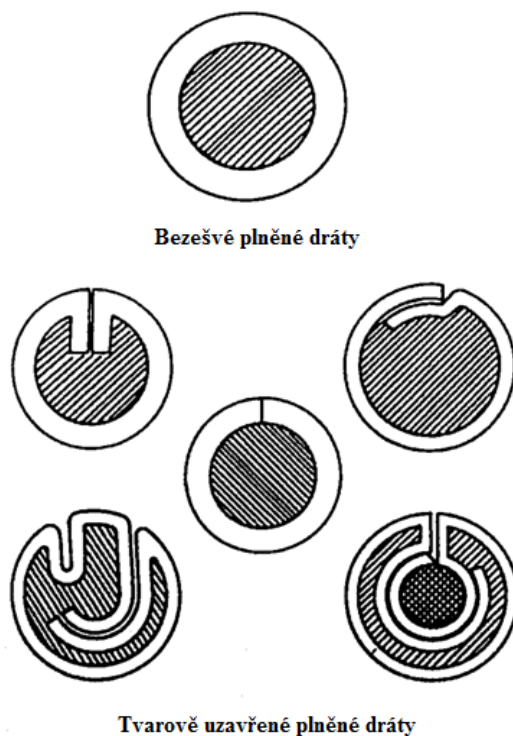
2.4.2 Rozdělení, vlastnosti a použití přídavných materiálů

Podle použití se přídavné materiály dělí do následujících základních skupin [8]:

- přídavné materiály pro svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí,
- přídavné materiály pro svařování nízkolegovaných ocelí,
- přídavné materiály pro svařování středně a vysoko legovaných ocelí,
- přídavné materiály pro svařování hliníku a slitin hliníku,
- přídavné materiály pro svařování mědi a slitin mědi,
- přídavné materiály pro navařování.

Pro svařování metodou MAG se používají přídavné materiály ve formě plného nebo plněného drátu (trubičkové dráty). Prvky obsažené v přídavném materiálu na sebe váží některé nepříznivě působící prvky vzniklé chemickými reakcemi. Tyto prvky se pak vyplavují na povrch svarové lázně a při chladnutí tvoří strusku. Trubičkové dráty mají plášť z pásku, který je sbalen do trubičky. Sbalené trubičky jsou buď svařeny, nebo mechanicky zajištěny např. pomocí zámků různých tvarů (obr. 2.22). Náplň trubičkového drátu obsahuje legující, struskotvorné a dezoxidační prvky a sloučeniny. Při svařování nejprve

hoří oblouk vně kovové trubičky a poté dochází k tavení náplně trubičky. V současné době se stále více používají trubičkové přídatné materiály, zatímco plné přídatné materiály ustupují do pozadí. [12], [15]



Obr. 2.22: Typy plněných drátů [12]

3 Experimentální část

3.1 Cíle experimentální části

Cílem experimentu bylo zjištění vlivu svařovacích parametrů (svařovací rychlosti a svařovacího proudu) na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG. Svařování probíhalo v rozsahu svařovacích proudů 100–300 A a svařovacích rychlostí 0,2–0,9 m/min. Plán experimentu, který je uveden v tabulce 3.1, byl sestaven tak, aby byla zmapována co možná největší parametrická oblast v systému svařovací proud a rychlost svařování. Sestavená tabulka dále sloužila k volbě parametrů na svařovacím zdroji Migatronik BDH 550 PulsSync a lineární pojezdové dráze. Původně navržený plán musel být v průběhu experimentu upraven. Důvodem úpravy byly tyto skutečnosti: Při svařování nízkými hodnotami svařovacího proudu a vysokými hodnotami svařovací rychlosti nebylo možné zajistit stabilní hoření elektrického oblouku, provaření svaru nebylo dostatečné a ani velikost a vzhled svaru nebyly uspokojující. Naopak při svařování vysokými hodnotami svařovacího proudu a nízkými hodnotami svařovací rychlosti hořel elektrický oblouk sice relativně stabilně, avšak vlivem velmi intenzivního natavení základního materiálu docházelo k protavení apod. Rozsah reálně použitých svařovacích proudů a rychlostí svařování je v plánu experimentu zvýrazněn. Následně byly hodnoceny změny geometrie koutového svaru v závislosti na daných svařovacích parametrech. Skutečné hodnoty svařovacích parametrů byly v reálném čase zaznamenávány pomocí systému WeldMonitor.

Tab. 3.1: Rozsah použitých rychlostí svařování v závislosti na svařovacím proudu

Svařovací proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
100	x	x	x	x				
120	x	x	x	x	x			
140	x	x	x	x	x	x		
160	x	x	x	x	x	x	x	
180	x	x	x	x	x	x	x	
200	x	x	x	x	x	x	x	
220	x	x	x	x	x	x	x	x
240	x	x	x	x	x	x	x	x
260	x	x	x	x	x	x	x	x
280		x	x	x	x	x	x	x
300		x	x	x	x	x	x	x

Celá experimentální část byla rozdělena do několika fází:

- příprava dílů,
- svařování vzorků, monitorování svařovacích parametrů,
- dělení, příprava svařených vzorků pro metalografické zpracování,
- metalografické zpracování vzorků,
- tvorba makroskopických snímků svarových lázní,
- vyhodnocení svarové lázně.

3.2 Zařízení pro realizaci experimentální části

Experiment probíhal na pracovištích KSP Technické univerzity v Liberci. V laboratoři pro tavné svařování probíhalo veškeré svařování vzorků. Na pracovišti určeném pro pomocné práce a dělení materiálu proběhlo sestavení a sestehování dílů. Na stejném pracovišti také došlo k extrahování a přípravě částí svarů určených pro metalografické zpracování. Jedním z posledních pracovišť byla metalografická laboratoř, ve které proběhlo zalití vzorků do Dentacrylu, jejich broušení a leptání. V laboratoři mikroskopie následovala tvorba makroskopických snímků svarových lázní a jejich vyhodnocení. Podrobnější informace o jednotlivých pracovištích jsou uvedeny v dalších kapitolách.

Laboratoř svařování

Laboratoř svařování je vybavena svařovacím zdrojem Migatronic BDH 550 PulsSync, lineárním automatem s rychlostí pojezdu v rozmezí 0,2 až 2,3 m/min, polohově nastavitelným přípravkem pro upnutí svařovaných vzorků a zařízením WeldMonitor Hardware, sloužícím k monitorování svařovacího procesu. Celkové uspořádání tohoto pracoviště je zobrazeno na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Uspořádání svařovacího pracoviště

Svařovací zdroj Migatronik BDH 550 PulsSync

Svařovací zdroj Migatronik BDH 550 PulsSync (obr. 3.2, tab. 3.2) je invertorový zdroj s možností svařování v pulzním režimu a synergickým ovládáním. Výhodou synergického ovládání je automatické nastavení všech sekundárních parametrů svařování zdrojem podle manuálně nastaveného svařovacího proudu. Popisovaný zdroj je vybaven ručním a automatizovaným hořákem pro svařování oceli a také ručním hořákem pro svařování hliníku. Délka hořáku je speciálně upravena tak, aby bylo možné simulovat i robotické svařování. Ve spojení s lineární pojezdovou dráhou a polohově nastavitelným přípravkem je pak možné automatické svařování v horizontální poloze a také monitorování svařovacích parametrů pomocí zabudovaného systému Infoweld a vnějšího monitorovacího systému WeldMonitor.



Obr. 3.2: Svařovací zdroj Migatronik BDH 550 PulsSync

Tab. 3.2: Parametry svařovacího zdroje Migatronik BDH 550 PulsSync

Síťové napětí	3 × 400 [V]
Pojistka	35 [A]
Max. zatížení při 40 °C	400 [A] / 36,0 [V]
Rozsah proudu	5–550 [A]
Napětí naprázdno	80 [V]
Třída ochrany	IP 21
Hmotnost	155 [kg]
Rozměry	1100 × 635 × 1410 [mm]

WeldMonitor – systém pro monitorování a dokumentaci sv. procesu

Systém WeldMonitor je navržený pro co možná nejjednodušší podrobné monitorování a dokumentaci svařovacího procesu s využitím moderní digitální a výpočetní techniky. Cílem tohoto systému je zajistit co nejvyšší reprodukovatelnost svarových spojů v odpovídající kvalitě. S jeho pomocí lze zefektivnit a optimalizovat výrobu v oblasti svařování. Systém WeldMonitor se skládá z hardwarového a softwarového vybavení.

WeldMonitor Hardware

Hardwarové vybavení systému WeldMonitor (obr. 3.3), tedy snímače monitorující jednotlivé veličiny procesu svařování, se mohou připojit na libovolné svařovací zařízení. Celý systém je připojen k řídicímu počítači a umožňuje nasazení i při automatizovaném procesu svařování pro sériové sledování kvality svařovaných spojů. V základním provedení, pomocí modulu WM-UI, lze monitorovat průběh svařovacího proudu a napětí. Systém dokáže v reálném čase s vysokou přesností měřit efektivní hodnoty těchto veličin a zároveň kalkulovat tzv. vnesené teplo. Snímané veličiny je možné zaznamenávat s frekvencí až 12,5 kHz (v našem případě až 25 kHz), což vyhovuje nezbytné podmínce pro spolehlivou diagnostiku zkratových, impulsních a sprchových svařovacích procesů. [26]

Přehled sledovaných veličin:

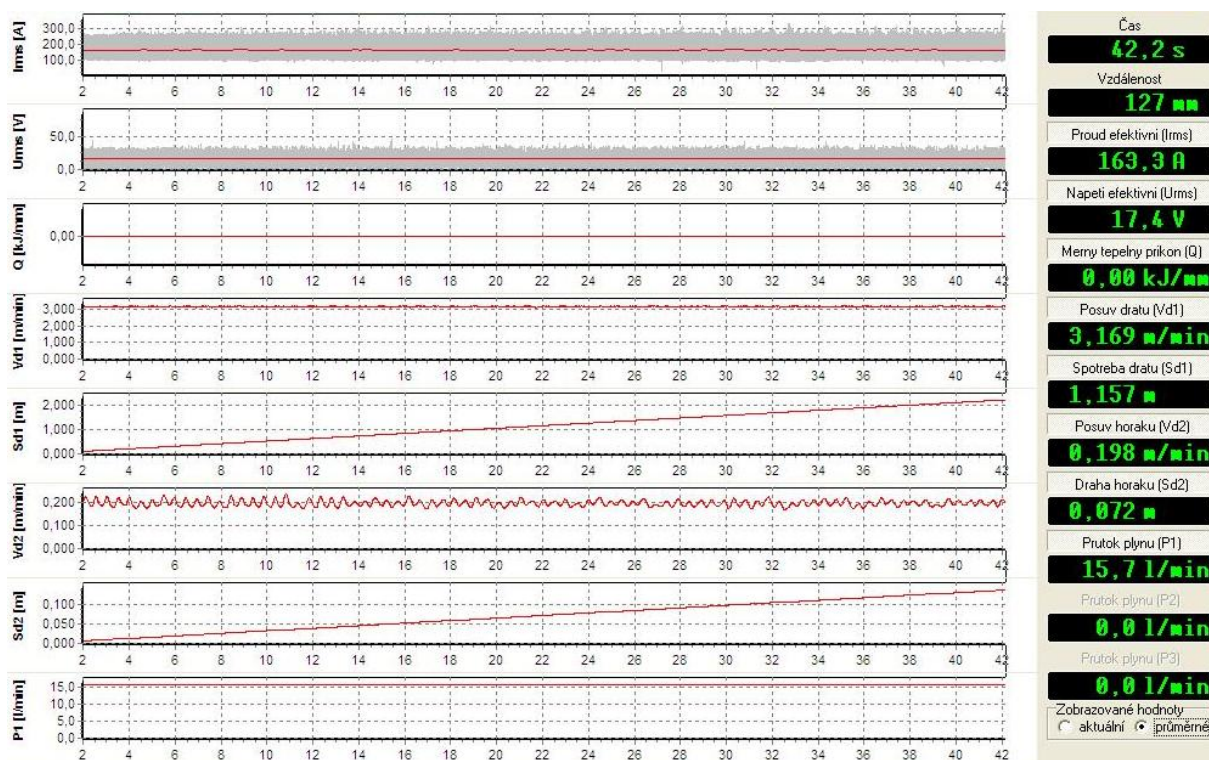
- čas svařování
- svařovací proud
- napětí
- měrný tepelný příkon
- rychlost podávání drátu
- spotřeba drátu
- rychlost svařování
- spotřeba ochranného plynu



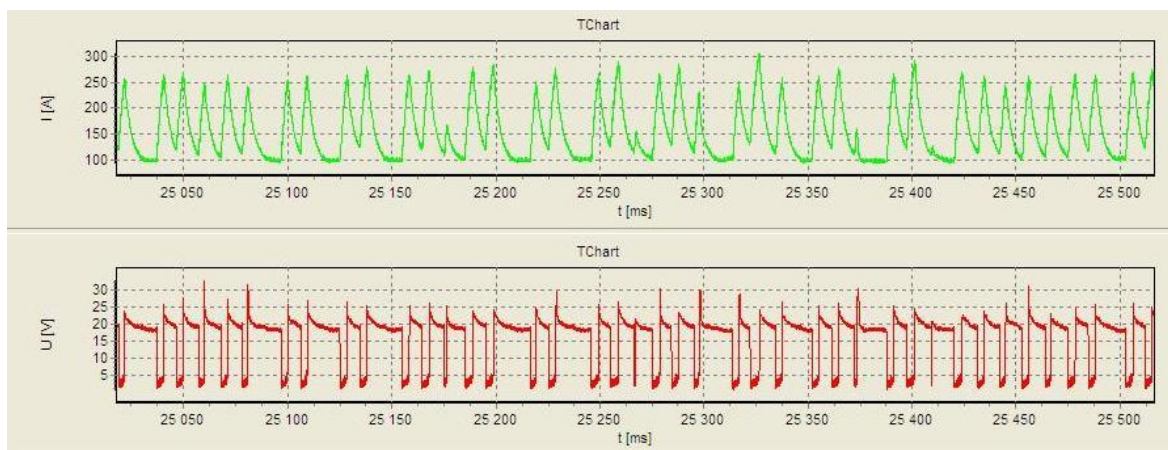
Obr. 3.3: WeldMonitor Hardware [26]

WeldMonitor Software, verze 3.5

Pomocí programu WeldMonitor lze profesionálně zobrazovat výsledky reálných nasnímaných dat jak v grafické (obr. 3.4), tak i v textové podobě (tab. 3.3), přičemž je možné zobrazit aktuální nebo průměrné hodnoty. Využitím tzv. UI laboratoře (obr. 3.5) můžeme v grafické podobě sledovat jednotlivé zkratky, jejich četnost a pravidelnost, rovněž hodnoty proudu a napětí. Program WeldMonitor umožňuje také tisk protokolů dle stávajících evropských a mezinárodních norem v oblasti svařování. Software obsahuje databázi firem, svářečů, jejich zkoušek, zařízení, základních materiálů, přídatných materiálů, plynů, dozorů svařování, postupů svařování a záznamy průběhu jednotlivých svarů včetně možnosti uložení digitálních fotografií. [26]



Obr. 3.4: WeldMonitor Software – grafy průběhu měřených veličin – vzorek S5c003



Obr. 3.5: WeldMonitor Software – záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c003

Tab. 3.3: Průměrné svařovací parametry – vzorek S5c003

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c003	120	0,2	163,4	17,4	0,197	0,6408	3,169	1,129	15,71

Laboratoř mikroskopie

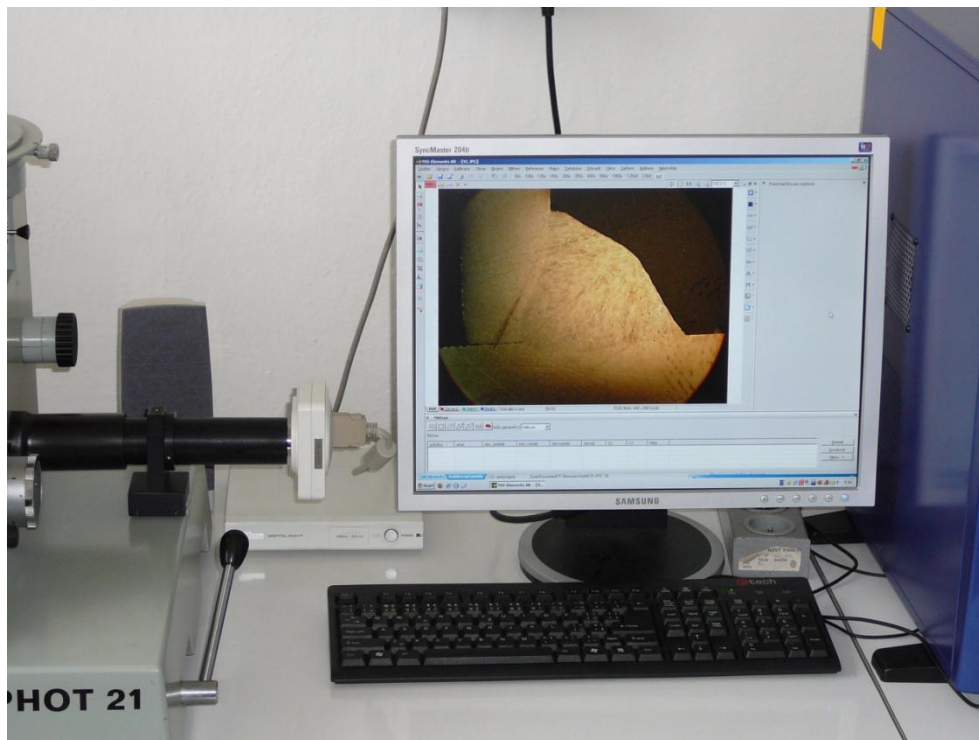
Laboratoř mikroskopie je vybavena optickým světelným mikroskopem Carl Zeiss Jena – Neophot 21 (obr. 3.6), na něž je připojena digitální kamera Nikon DS-L1. Digitální kamera je propojena s počítačem (obr. 3.7) s instalovaným softwarem NIS-Elements, tento program slouží k vyhodnocení geometrie svarů.



Obr. 3.6: Optický světelný mikroskop Neophot 21

NIS-Elements Software, verze 2.3 CZ

Software NIS-Elements je jedním z nejpoužívanějších softwarů pro obrazovou analýzu v ČR. Díky intuitivnímu ovládání lze dosáhnout rychlejších pracovních postupů a zvýšit rychlost snímání obrazů. NIS-Elements Software je určený ke sledování, snímání, archivaci a ručnímu nebo automatizovanému měření vzorků. Vybavení programu je možné rozdělit do několika stupňů členěných podle náročnosti prováděné obrazové analýzy.

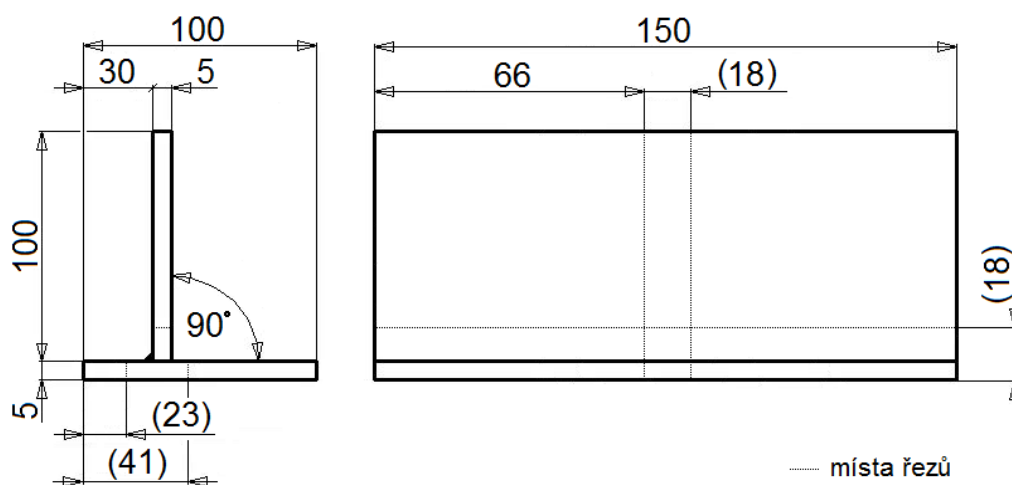


Obr. 3.7: Počítač s instalovaným programem NIS-Elements

3.3 Postup experimentálních prací

3.3.1 Příprava dílů

Na výrobu vzorků byl použit za studena válcovaný plech z materiálu 11 373 (tab. 3.4) o tloušťce 5 mm. Plech byl rozstříhán na díly o rozměrech $150 \times 100 \times 5$ mm. Díly byly očištěny od nečistot, dosedací plocha stojiny byla zbavena otřepů vzniklých po stříhání plechu a obrobena tak, aby po sestavení dílů nebyla ovlivněna geometrie svaru případnou proměnlivou svarovou mezerou nebo deformací po stříhání plechu. Svarovou mezeru je po této operaci možné považovat za nulovou. Díly byly sestaveny (obr. 3.8) a sestehovány v přípravku zaručujícím kolmost a tím zároveň i jejich geometrickou shodu.



Obr. 3.8: Rozměry svařence, naznačená místa řezů

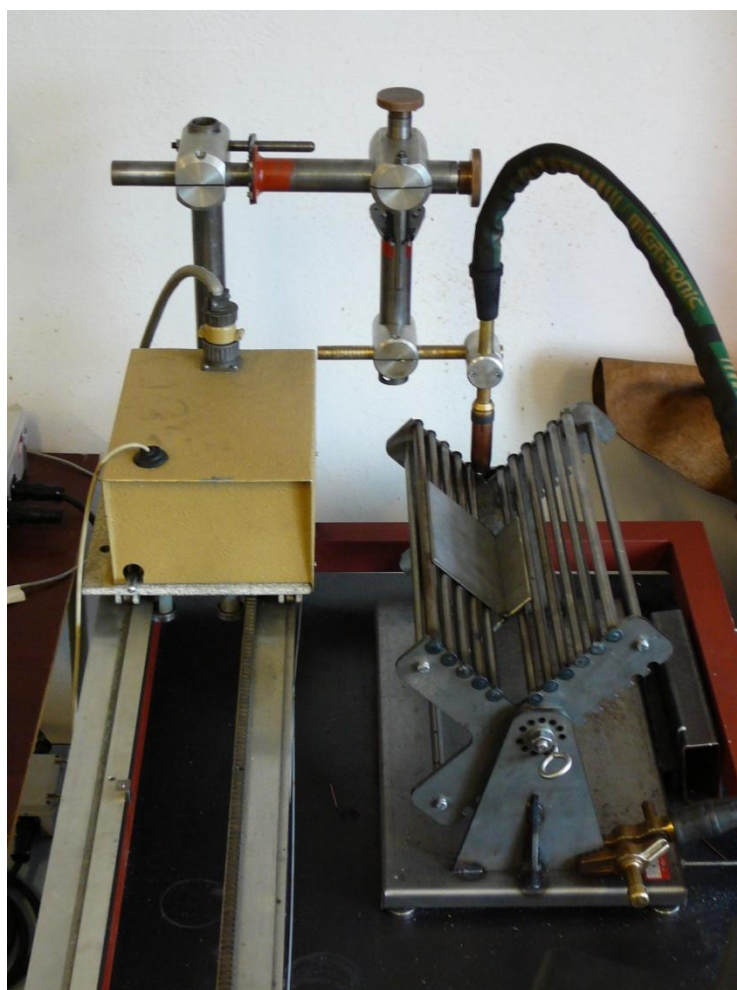
Tab. 3.4: Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 373

Mechanické vl. materiálu	Mez pevnosti: max. 440 [MPa]
	Mez kluzu: min. 250 [MPa]
Chemické sl. materiálu	C – max. 0,17 %; P – max. 0,045 %;
	S – max. 0,045 %; N – max. 0,007 %

3.3.2 Svařování vzorků

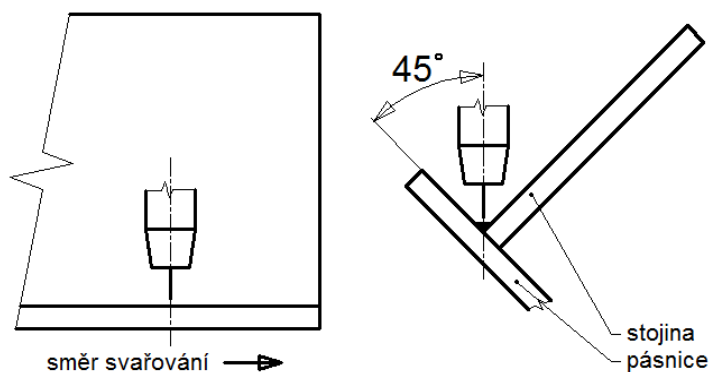
Způsob svařování vzorků

Svařování vzorků bylo prováděno v polohovatelném přípravku, vyrobeném na KSP Technické univerzity v Liberci, poloze „PA“ do úžlabí (obr. 3.9). Přípravek slouží k zajištění požadované geometrické polohy mezi svařovaným materiálem a hořákem, je navržen tak, aby bylo vždy možné jasně definovat potřebný úhel mezi svařovaným materiálem a hořákem. Tento přípravek také svou konstrukcí umožňuje přesně definovat součinitel přestupu tepla do okolí. Jeho jednoduchým přestavením lze svařovat jak koutové, tak i tupé svary.



Obr. 3.9: Vzorek upnutý v přípravku

Svařování vzorků probíhalo dle normy ČSN EN ISO 6947, pod úhlem 45°. Úhel nastavení hořáku v rovině kolmé na směr svařování byl roven 90°, úhel v rovině rovnoběžné se směrem svařování byl pak roven 0° (obr. 3.10). Všechny svary byly zhotoveny letným startem a letným koncem. Délka svarů byla přibližně 135 mm. Uvedená délka je dostatečná k tomu, aby bylo dosaženo ustáleného teplotního pole a s ním spojeného ustáleného průřezu svaru. Také šířka dílců je dostatečná k bezproblémovému monitorování teplotního pole.



Obr. 3.10: Úhlové ustavení nastehovaného vzorku

Přídavný drát ESAB OK AUTROD 12.51 a jeho parametry

Pro svařování vzorků byl použit svařovací drát ESAB OK AUTROD 12.51 (tab. 3.5) o průměru 1,2 mm, vhodný pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí a tam, kde je potřeba vysokých svařovacích parametrů (sprchový proces). Tento drát je svými parametry určený především na mechanizovaná a robotizovaná pracoviště. [27]

Tab. 3.5: Technické parametry svařovacího drátu ESAB OK AUTROD 12.51

Doporučený svařovací proud	120–380 [A]
Doporučené napětí	18–34 [V]
Doporučená rychlost podávání	2,5–15 [m/min]
Výkon svařování	1,3–8,0 [kg/h]
Chemické složení drátu	C – 0,09 %; Si – 0,9 %; Mn – 1,5 %
Mechanické vlast. svarového kovu	
Mez kluzu	470 [MPa]
Pevnost	560 [MPa]
Tažnost	do 26 %

Ochranný plyn a jeho parametry

Pro svařování vzorků byl použit ochranný plyn AIR PRODUCT – EUROMIX® M21 (tab. 3.6). Jedná se o dvousložkovou směs ochranného plynu, která je vhodná pro svařování uhlíkových nelegovaných a nízkolegovaných ocelí metodou MAG, a to jak pro ruční, tak automatické svařování. [28]

Mezi výhody použití tohoto plynu patří např.: malý rozstřík svarového kovu především v oblastech velkého výkonu, lze použít i pro impulsní svařování, hlubší průvar, stabilně hořící oblouk, možnost použití pro všechny svařovací polohy.

Tato směs vyhovuje požadavkům na minimální čistotu jednotlivých plynů a udanou toleranci směsných poměrů dle normy ČSN 14 175. Plyn je vyráběn a plněn standardními výrobními postupy ošetřené normou ISO 9001:2000. Lahve jsou plněny na tlak 30 MPa při teplotě 15 °C. [28]

Tab. 3.6: Technické parametry ochranného plynu EUROMIX® M21

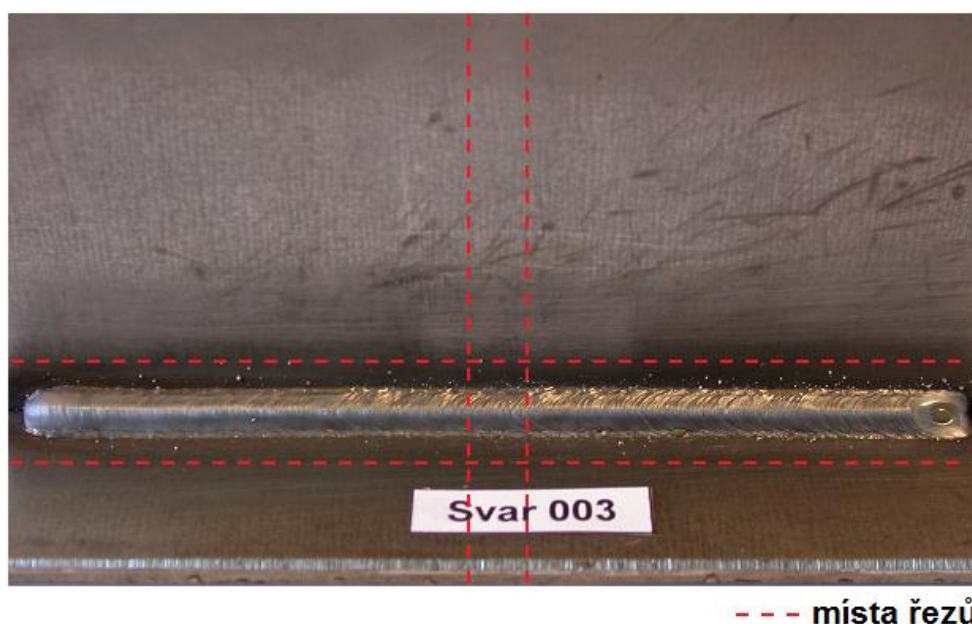
Poměr složek směsi	
Oxid uhličitý – CO ₂	18 %
Vlhkost	< 5 ppm
Argon – Ar	zbytek

Monitorování svařovacích parametrů procesu svařování metodou MAG programem WeldMonitor v. 3.5

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.2, systém WeldMonitor je software umožňující mimo jiné monitorovat a dokumentovat proces svařování. Pomocí snímačů připojených na svařovací zařízení a propojených s monitorovacím programem WeldMonitor je možné získat záznamy svařovacích parametrů, které lze dále vyhodnocovat. Schéma zapojení hardwaru WeldMonitor pro svařování metodou MAG je uvedeno v příloze č. 1, obr. 9.1. Veškeré monitorované parametry byly ukládány do externího počítače s frekvencí záznamu 25 kHz a zpracovány jak v grafické, tak i datové podobě. Sledované parametry jsou uvedeny v příloze č. 2, list č. 1–2, tab. 9.1.1–9.1.2.

3.3.3 Příprava vzorků a jejich metalografické zpracování

Po svaření dílců bylo pro následující metalografické zpracování nutné z každého svařence extrahovat vzorek svými rozměry a vlastnostmi vhodný k následnému vyhodnocení. Vzorky byly odebírány z míst, kde bylo již ustálené teplotní pole (obr. 3.11), nejprve byly provedeny horizontální řezy pomocí kyslíko-acetylenového plamene, pak následovalo řezání na kotoučové pile Buehler Delta AbrasiMet za použití vodního chlazení. Výška vzorku byla zvolena s ohledem na co nejnižší spotřebu Dentacrylu potřebného k zalití vzorku, pohybovala se v rozmezí 16–18 mm.

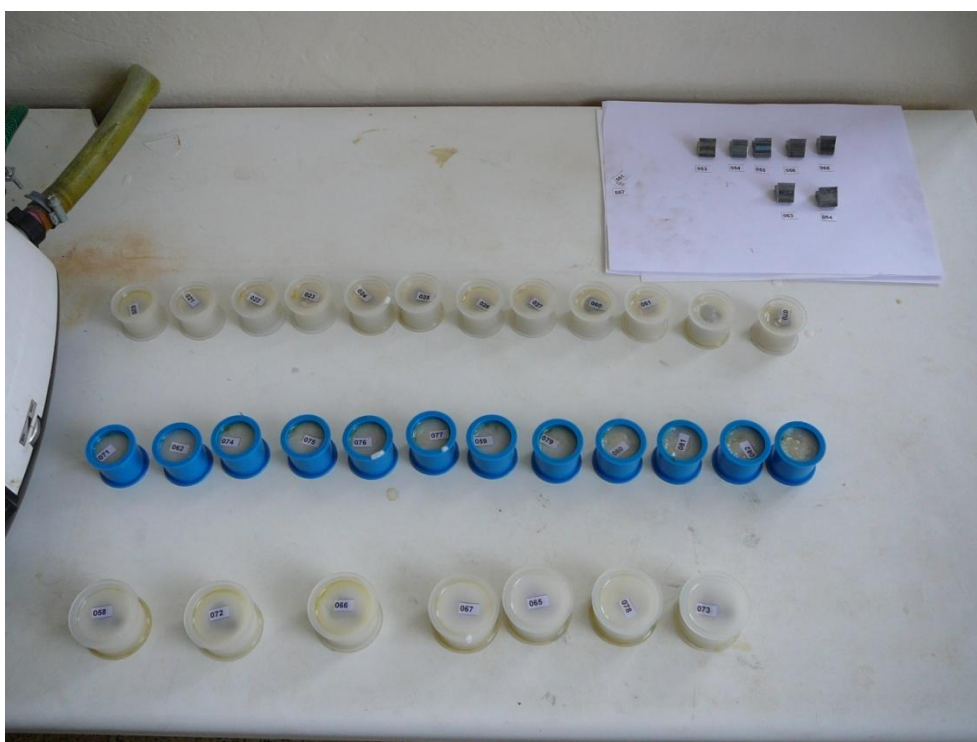


Obr. 3.11: Vzorek S5c003, označení míst řezů

Připravené vzorky (obr. 3.12) byly zality do Dentacrylu (obr. 3.13). Technický Dentacryl je dvousložková metylmetakrylátová licí pryskyřice. Její vytvrzení probíhá samovolně po smísení složek. Po bezpečném vytvrzení Dentacrylu byly vzorky broušeny na metalografické brusce Buehler Phoenix 4000. Na metalografické brusce se také prováděla poslední mechanická úprava, tj. leštění pomocí diamantové suspence Buehler o zrnitosti 3 μm . Vzorky byly dále naleptány leptadlem Nital o 3% koncentraci. Při této operaci již nedochází k odběru materiálu, používá se pouze pro zviditelnění struktury svaru, resp. svarové lázně a tepelně ovlivněné oblasti. Nakonec následovalo vyhotovení snímků makrostruktur svarových lázní, jež byly zhotoveny na optickém světelném mikroskopu Neophot 21 a nasnímány připojenou kamerou Nikon DS-L1 při desetinásobném zvětšení.



Obr. 3.12: Vzorky připravené na zalití do Dentacrylu



Obr. 3.13: Vzorky zalité do Dentacrylu

3.3.4 Vyhodnocení svařovaných vzorků





Z důvodu velkého rozsahu experimentální části, avšak omezené velikosti diplomové práce je v následujících kapitolách podrobně popsán postup vyhodnocení pouze pro dva svařované vzorky (S5c003 – zkratový přenos, S5c078 – bezzkratový přenos), ostatní vzorky byly vyhodnoceny stejným postupem. Monitorované parametry všech svařovaných vzorků jsou uvedeny v příloze č. 2, list č. 1–2, tab. 9.1.1–9.1.2. Rozměrová analýza všech hodnocených vzorků je pak uvedena v příloze č. 3, list č. 1–4, tab. 9.2.1–9.2.4, následuje vyhodnocení kvality vzorků dle ČSN EN ISO 5817 uvedené v příloze č. 4, list č. 1–2, tab. 9.3.1–9.3.2. V průběhu vypracování experimentální části bylo také zpracováno kompletní vyhodnocení všech zhotovených vzorků podrobených rozměrové analýze. Toto vyhodnocení bude však kvůli svému rozsahu přiloženo pouze jako součást prezentace diplomové práce.

Během popisovaného experimentu realizovaného v rámci této diplomové práce bylo zhotoveno 66 svarů (včetně opravných) v rozsahu těchto nastavovaných svařovacích parametrů: svařovací proud 100–300 A, svařovací rychlost 0,2–0,9 m/min (tab. 3.1). Vzhledem k velké časové náročnosti experimentu, určenému cíli zmapovat co možná největší parametrickou oblast v systému svařovací proud a rychlost svařování a v poslední řadě kvůli dosažení co nejpresnějších výsledků byly pro následné hodnocení využity i svary zhotovené v rámci ostatních diplomových, resp. bakalářských prací provedených na KSP Technické univerzity v Liberci. Z celkového počtu 89 metalografických výbrusů (tab. 3.7.1–3.7.2, sloup. 3–4) bylo v analytickém programu NIS-Elements vyhodnoceno 64 metalografických výbrusů svarových lázní (tab. 3.7.1–3.7.2, sloup. 7). Geometrické rozměry 59 svarových lázní (tab. 3.7.1–3.7.2, sloup. 8) jsou uvedeny v příloze citované výše.

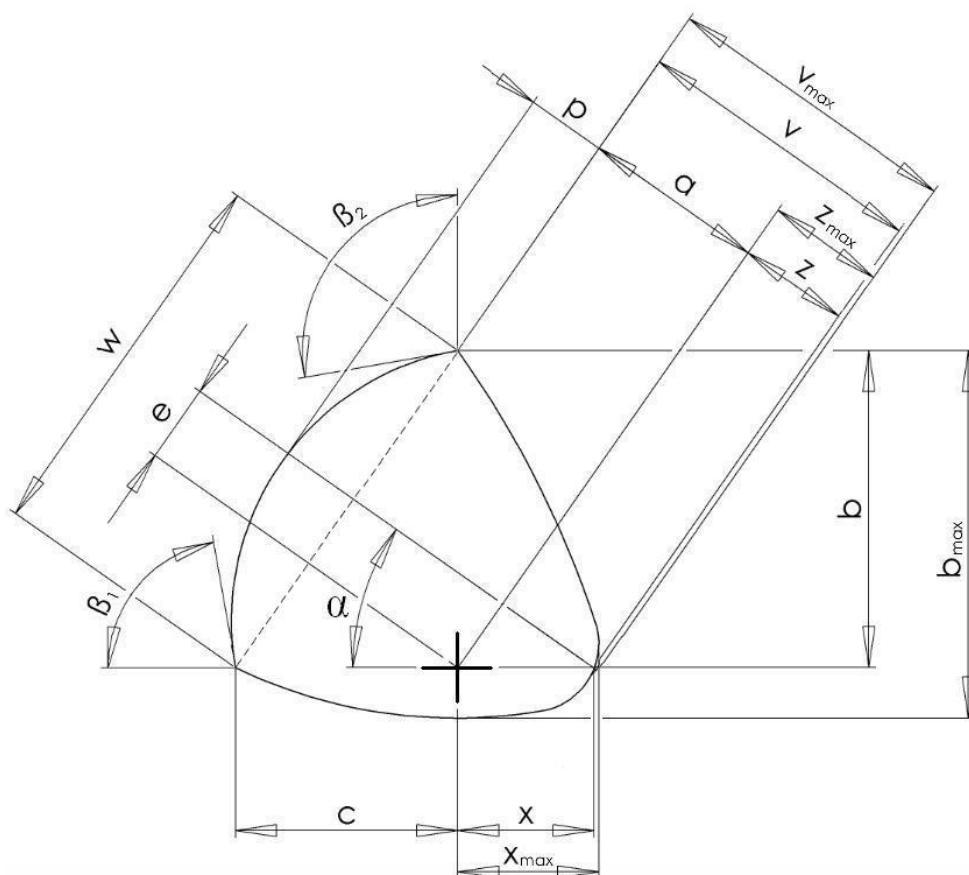
Tab. 3.7.1: Seznam svařovaných vzorků

Svary		Kompletní serie	Nahrazené svary			Hodnocené svary	Uvedené svary
DP Sychra	BP Adolf						
S5c001		S5c001				S5c001	S5c001
S5c002		S5c002				S5c002	S5c002
S5c015		S5c015		S5c015			
S5c043		S5c043		S5c043			
S5c003		S5c003				S5c003	S5c003
S5c004		S5c004				S5c004	S5c004
S5c005		S5c005				S5c005	S5c005
S5c016		S5c016		S5c016			
S5c017		S5c017		S5c017			
S5c018		S5c018		S5c018			
S5c038		S5c038		S5c038			
S5c039		S5c039		S5c039			
S5c040		S5c040		S5c040			
S5c006		S5c006				S5c006	S5c006
S5c007		S5c007				S5c007	S5c007
S5c008		S5c008				S5c008	S5c008
S5c009		S5c009				S5c009	S5c009
	S5c020	S5c020		S5c020			
	S5c021	S5c021		S5c021			
	S5c022	S5c022		S5c022			
	S5c023	S5c023		S5c023			
	S5c024	S5c024		S5c024			
S5c041		S5c041		S5c041			
S5c042		S5c042		S5c042			
S5c010		S5c010			S5c010	S5c010	
S5c123		S5c123				S5c123	S5c123
S5c011		S5c011			S5c011	S5c011	
S5c124		S5c124				S5c124	S5c124
S5c012		S5c012				S5c012	S5c012
S5c013		S5c013				S5c013	S5c013
S5c014		S5c014				S5c014	S5c014
	S5c030	S5c030		S5c030			
	S5c025	S5c025		S5c025			
	S5c026	S5c026		S5c026			
	S5c027	S5c027			S5c027	S5c027	
	S5c028	S5c028		S5c028			
	S5c029	S5c029		S5c029			
S5c121		S5c121				S5c121	S5c121
S5c019		S5c019			S5c019	S5c019	
S5c122		S5c122				S5c122	S5c122
	S5c032	S5c032		S5c032			
	S5c031	S5c031				S5c031	S5c031
	S5c033	S5c033		S5c033			
	S5c034	S5c034	S5c034				
	S5c035	S5c035		S5c035			
	S5c036	S5c036				S5c036	S5c036
	S5c037	S5c037				S5c037	S5c037
S5c084		S5c084				S5c084	S5c084
S5c044		S5c044				S5c044	S5c044
S5c045		S5c045				S5c045	S5c045
S5c046		S5c046				S5c046	S5c046

Tab. 3.7.2: Seznam svařovaných vzorků

Svary		Kompletní serie	Nahrazené svary			Hodnocené svary	Uvedené svary
DP Sychra	BP Adolf						
S5c047		S5c047				S5c047	S5c047
S5c048		S5c048				S5c048	S5c048
S5c049		S5c049		S5c049			
S5c085		S5c085				S5c085	S5c085
S5c050		S5c050				S5c050	S5c050
S5c051		S5c051		S5c051			
S5c052		S5c052				S5c052	S5c052
S5c053		S5c053				S5c053	S5c053
S5c054		S5c054				S5c054	S5c054
S5c055		S5c055			S5c055	S5c055	
S5c056		S5c056				S5c056	S5c056
S5c086		S5c086				S5c086	S5c086
S5c087		S5c087				S5c087	S5c087
S5c058		S5c058				S5c058	S5c058
S5c059		S5c059				S5c059	S5c059
S5c060		S5c060				S5c060	S5c060
S5c061		S5c061				S5c061	S5c061
S5c062		S5c062				S5c062	S5c062
S5c063		S5c063				S5c063	S5c063
S5c064		S5c064				S5c064	S5c064
S5c065		S5c065				S5c065	S5c065
S5c066		S5c066				S5c066	S5c066
S5c067		S5c067				S5c067	S5c067
S5c068		S5c068				S5c068	S5c068
S5c069		S5c069				S5c069	S5c069
S5c070		S5c070				S5c070	S5c070
S5c071		S5c071				S5c071	S5c071
S5c072		S5c072				S5c072	S5c072
S5c073		S5c073				S5c073	S5c073
S5c074		S5c074				S5c074	S5c074
S5c075		S5c075				S5c075	S5c075
S5c076		S5c076				S5c076	S5c076
S5c077		S5c077				S5c077	S5c077
	S5c078	S5c078				S5c078	S5c078
	S5c079	S5c079				S5c079	S5c079
	S5c080	S5c080				S5c080	S5c080
	S5c081	S5c081				S5c081	S5c081
	S5c082	S5c082				S5c082	S5c082
	S5c083	S5c083				S5c083	S5c083
$\Sigma_{(Sy.)} = 66$	$\Sigma_{(Ad.)} = 24$	$\Sigma_{(celk.)} = 90$	$\Sigma_{(nah. 1)} = 1$	$\Sigma_{(nah. 2)} = 25$	$\Sigma_{(nah. 3)} = 5$	$\Sigma_{(hod.)} = 64$	$\Sigma_{(uv.)} = 59$
<p>Legenda:</p> <div> <div>  prasklý svar </div> <div>  nedostatečné provaření kořene svaru </div> </div> <div> <div>  na hranici dost. provaření kořene svaru </div> <div>  jediný svar z dané série (I = 160 A) s dostatečně provařeným kořenem </div> </div>							

Cílem vyhodnocení v programu NIS-Elements bylo zjistit rozměry vzniklé svarové lázně (obr. 3.14) a také obsah všech jejích důležitých ploch (P_c , P_Δ , P_n). Celkem bylo měřeno 21 různých geometrických údajů, tak aby mohla být výsledná kvalita svaru hodnocena i podle normy ČSN EN ISO 5817.



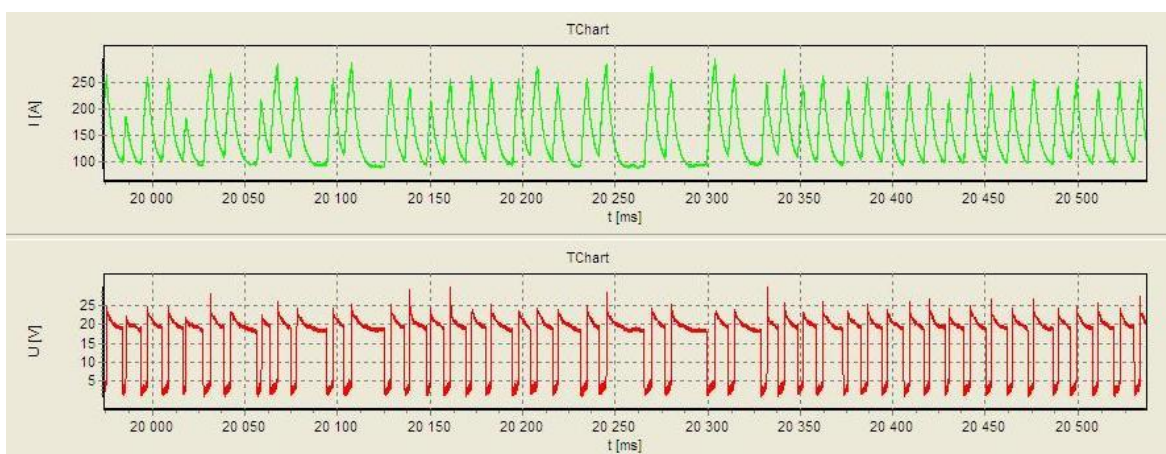
Obr. 3.14: Geometrické rozměry svarové lázně

3.3.4.1 Vyhodnocení vzorku S5c003

Vzorek S5c003 byl svařován až jako poslední ze série vzorků S5c038, S5c016, S5c003. Nejdříve byl dle plánu experimentů (tab. 3.1) svařován vzorek S5c038, a to těmito nastavenými parametry: svařovací proud $I = 120 \text{ A}$, svařovací rychlost $v_s = 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Skutečné hodnoty svařovacích parametrů byly obdobně jako u všech vzorků zaznamenány programem WeldMonitor jak v textové (tab. 3.8), tak grafické (obr. 3.15) podobě. Po svařování byla změřena délka svarové lázně, její rozměry byly zaznamenány a ze vzorku byla extrahována část vhodná k metalografickému zpracování (viz kapitola 3.3.3).

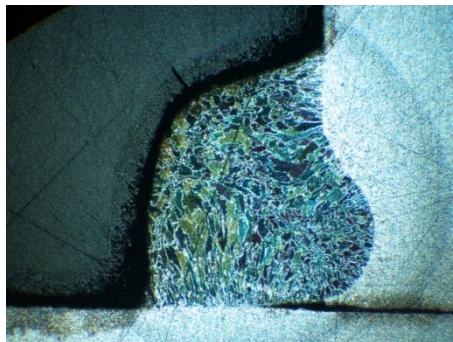
Tab. 3.8: Svařovací parametry – vzorek S5c038

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c038	120	0,2	158,5	17,5	0,201	0,6127	3,105	1,08	17,2



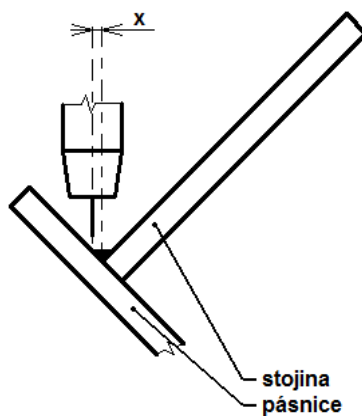
Obr. 3.15: Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c038

Při svařování vzorku S5c038, který byl svařován nízkým svařovacím proudem, v tomto případě tedy $I = 120 \text{ A}$, a při směřování hubice hořáku přímo do bodu spojnice stojiny a pásnice (obr. 3.10), došlo k nedostatečnému provaření kořene tohoto svaru, resp. nevyhovujícímu přivaření pásnice. Na obr. 3.16 je metalografický výbrus svarové lázně tohoto vzorku, zhotoveného výše uvedenými parametry.



Obr. 3.16: Snímek makrostruktury vzorku S5c038

Této skutečnosti, která je způsobena nerovnoměrným odvodem tepla z místa svaru a vyskytuje se převážně při nastavení nízkých hodnot svařovacího proudu, lze zabránit vyosením hubice hořáku směrem do pásnice (obr. 3.17).

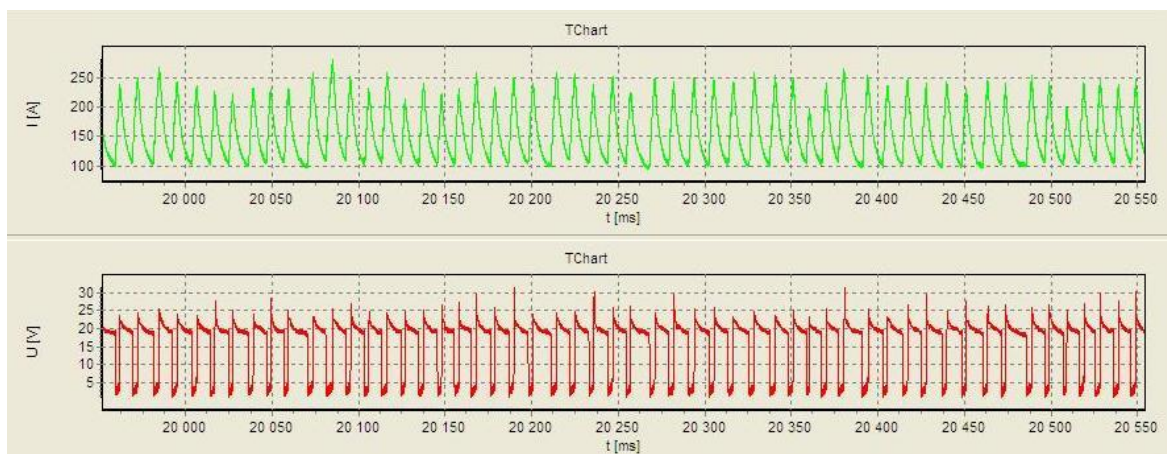


Obr. 3.17: Vyosení hubice hořáku

Následující vzorek označený S5c016 byl svařován shodnými svařovacími parametry jako předešlý vzorek, tedy svařovací proud $I = 120 \text{ A}$ a svařovací rychlost $v_s = 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ale s vyosením hubice hořáku směrem do pásnice $x = 0,4 \text{ mm}$. Skutečné hodnoty svařovacích parametrů byly opět zaznamenány programem WeldMonitor textově (tab. 3.9) i graficky (obr. 3.18). Po svařování byla změřena délka svarové lázně.

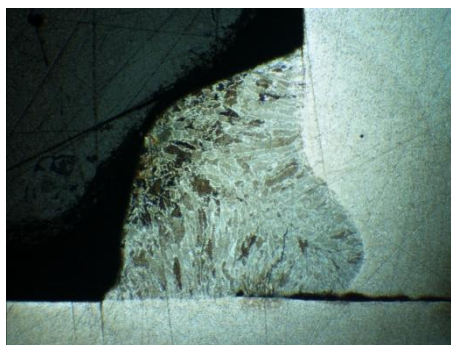
Tab. 3.9: Svařovací parametry – vzorek S5c016

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c016	120	0,2	163,1	17,5	0,2	0,6336	3,19	1,135	15,81



Obr. 3.18: Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c016

Z tohoto vzorku byl opět stejným postupem získán makroskopický snímek svarové lázně (obr. 3.19). Ani u tohoto vzorku ale z důvodu stále ještě malého vyosení nedošlo k uspokojivému provaření kořene svaru.

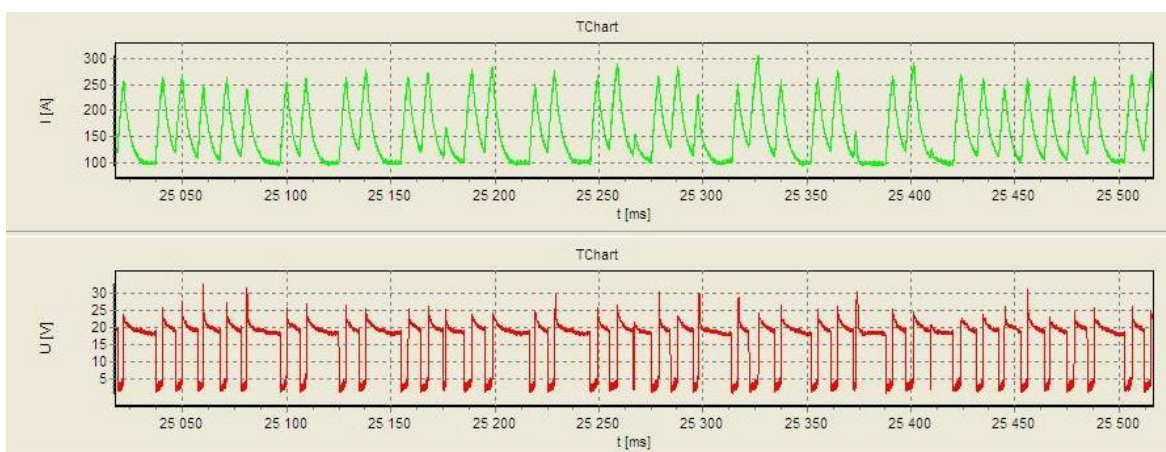


Obr. 3.19: Snímek makrostruktury vzorku S5c016

Poslední vzorek, označený S5c003, byl proto při zachování stejně nastavených svařovacích parametrů (svařovací proud $I = 120 \text{ A}$, svařovací rychlost $v_s = 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) svařován s vyosením hubice hořáku směrem do pásnice $x = 0,8 \text{ mm}$. Skutečné hodnoty svařovacích parametrů jsou uvedeny v tabulce 3.10. Z přiloženého grafického záznamu UI laboratoře programu WeldMonitor je patrné, že se u vzorku S5c003 jedná o zkratový přenos kovu v oblouku (obr. 3.20). Po svařování byla změřena délka svarové lázně (obr. 3.21 – a, b), její rozměry byly zaznamenány do tabulky 3.11 a ze vzorku byla následně extrahována část vhodná k metalografickému zpracování (viz kapitola 3.3.3).

Tab. 3.10: Svařovací parametry – vzorek S5c003

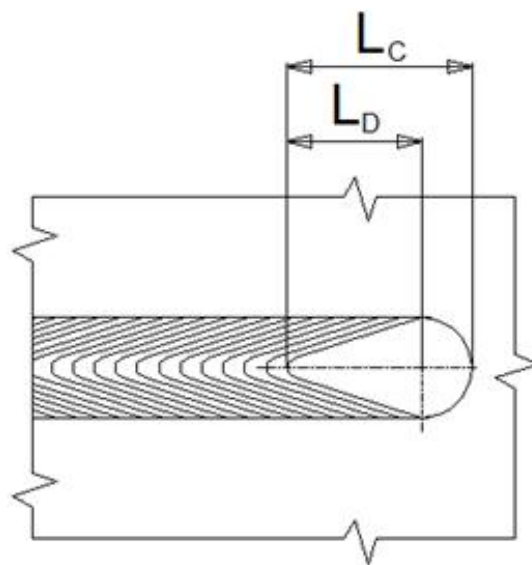
Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c003	120	0,2	163,4	17,4	0,197	0,6408	3,169	1,129	15,71



Obr. 3.20: Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c003

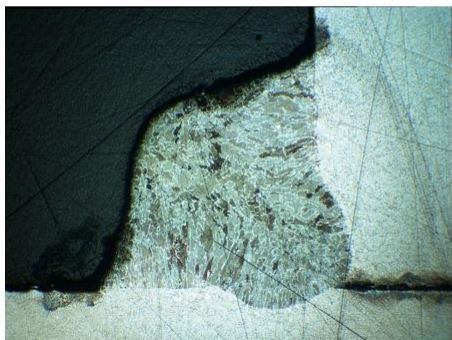


a) Snímek svarové lázně vzorku S5c003

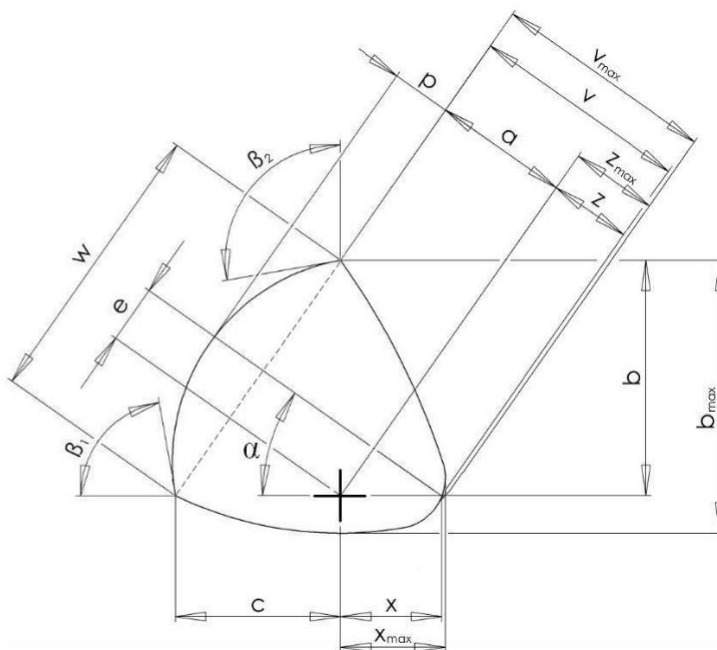


b) Měřené rozměry svarové lázně

Obr. 3.21: Rozměry svarové lázně – vzorek S5c003



a) Snímek makrostruktury vzorku S5c003



b) Měřené rozměry makrostruktury

Obr. 3.22: Rozměrová analýza – vzorek S5c003

Z obr. 3.22 – a je patrné, že u tohoto vzorku došlo k uspokojivému provaření kořene svaru a že uvedené vyosení dokáže eliminovat nerovnoměrný odvod tepla při svařování koutových svarů nízkými hodnotami svařovacího proudu. V programu NIS-Elements bylo provedeno měření všech hodnocených rozměrů svarové lázně (obr. 3.22 – b). Veškeré rozměry a obsahy hodnocených ploch svaru byly zaznamenány do tabulky 3.11, kvalita svaru byla vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 5817 (tab. 3.12).

Tab. 3.11: Geometrické rozměry svarové lázně – vzorek S5c003

S5c003						
L_c [mm]:	L_D [mm]:	a [mm]:	b [mm]:	b_{max} [mm]:	c [mm]:	e [mm]:
10,71	5,35	3,4916	5,1843	5,5471	4,7064	0,1103
p [mm]:	w [mm]:	x [mm]:	x_{max} [mm]:	z [mm]:	z_{max} [mm]:	v [mm]:
1,6419	7,0006	0,1496	0,8072	0,1234	0,3130	4,2628
v_{max} [mm]:	α [°]:	β_1 [°]:	β_2 [°]:	P_c [mm ²]:	P_Δ [mm ²]:	P_n [mm ²]:
3,8046	41,72	119,14	122,42	19,8463	12,3130	5,6253

Tab. 3.12: Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 – vzorek S5c003

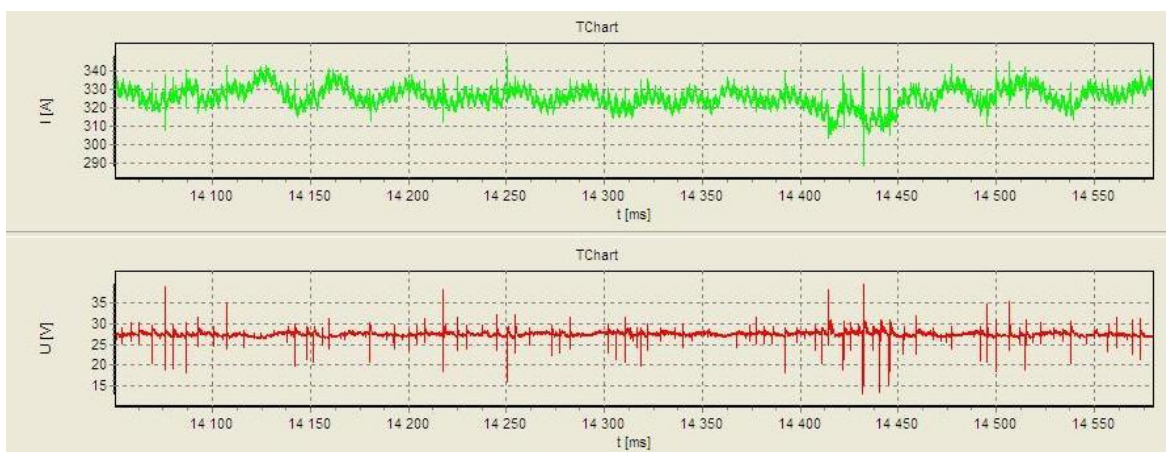
Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového sv.	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S5c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

3.3.4.2 Vyhodnocení vzorku S5c078

Vzorek S5c078 byl dle plánu experimentů (tab. 3.1) svařován těmito nastavenými parametry: svařovací proud $I = 300 \text{ A}$, svařovací rychlost $v_s = 0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Skutečné hodnoty svařovacích parametrů byly zaznamenány pomocí programu WeldMonitor a jsou uvedeny v tabulce 3.13. Z přiloženého grafického záznamu UI laboratoře programu WeldMonitor je patrné, že se u tohoto vzorku jedná o sprchový přenos kovu v oblouku (obr. 3.23). Po svařování byla měřena délka svarové lázně (obr. 3.24 – a, b) a její rozměry byly zaznamenány do tabulky 3.14.

Tab. 3.13: Svařovací parametry – vzorek S5c078

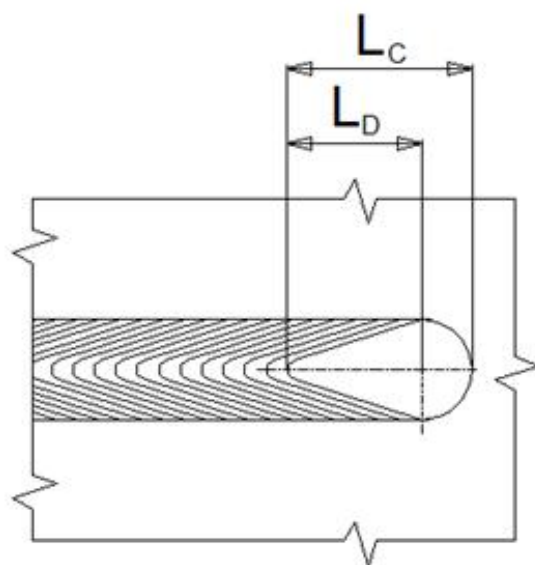
Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c078	300	0,4	326,7	27,5	0,4	0,9973	9,502	1,69	16,2



Obr. 3.23: Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c078

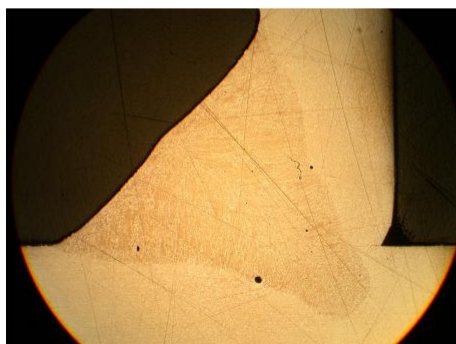


a) Snímek svarové lázně vzorku S5c078

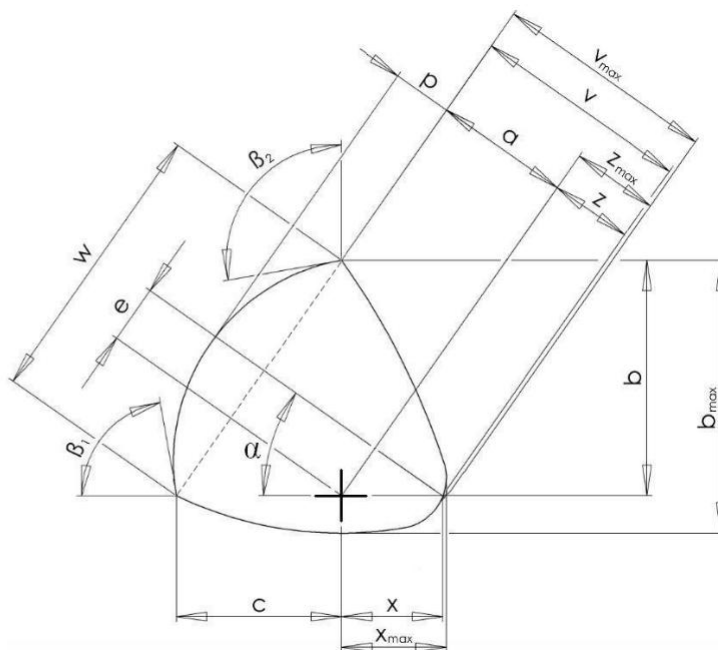


b) Měřené rozměry svarové lázně

Obr. 3.24: Rozměry svarové lázně – vzorek S5c078



a) Snímek makrostruktury vzorku S5c078



b) Měřené rozměry makrostruktury

Obr. 3.25: Rozměrová analýza – vzorek S5c078

Ze vzorku byla dále extrahována část vhodná k metalografickému zpracování (viz kapitola 3.3.3). Získané makroskopické snímky svarové lázně (obr. 3.25 – a) byly v programu NIS-Elements změřeny. Veškeré rozměry (obr. 3.25 – b) a obsahy hodnocených ploch svaru byly zaznamenány do tabulky 3.14, kvalita svaru byla vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 5817 (tab. 3.15).

Tab. 3.14: Geometrické rozměry svarové lázně – vzorek S5c078

S5c078						
L_c [mm]:	L_D [mm]:	a [mm]:	b [mm]:	b_{max} [mm]:	c [mm]:	e [mm]:
26,29	15,74	5,3449	7,8542	10,5204	7,3038	2,4071
p [mm]:	w [mm]:	x [mm]:	x_{max} [mm]:	z [mm]:	z_{max} [mm]:	v [mm]:
0,1999	10,7267	3,556	4,1394	2,575	4,2783	7,9199
v_{max} [mm]:	α [°]:	β_1 [°]:	β_2 [°]:	P_c [mm ²]:	P_Δ [mm ²]:	P_n [mm ²]:
9,6232	43,17	142,39	145,62	58,2537	28,867	1,3693

Tab. 3.15: Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 – vzorek S5c078

Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového sv.	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S5c078	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

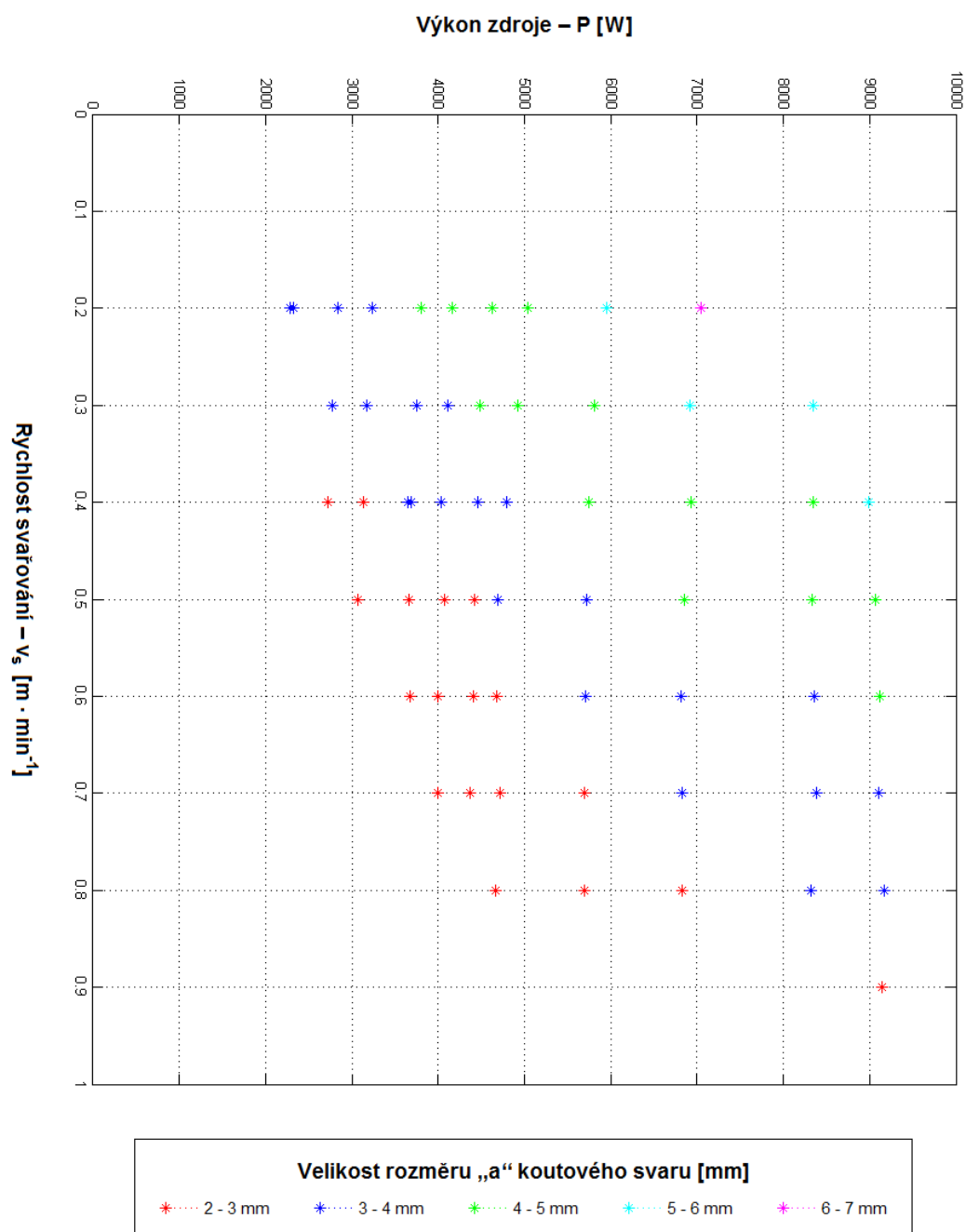
3.4 Vyhodnocení experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo zmapovat co možná největší parametrickou oblast v systému svařovací proud – rychlost svařování a dále popsat vliv těchto parametrů na geometrii svarové lázně. Jak již bylo řečeno v kapitole 3.3.4, byly pro dosažení co nejpřesnějších výsledků v analytickém programu NIS-Elements hodnoceny i svary zhotovené v rámci ostatních diplomových, resp. bakalářských prací provedených na KSP Technické univerzity v Liberci. Veškeré svary byly geometricky vyhodnoceny a na základě zaznamenaných parametrických veličin bylo sestaveno grafické zobrazení jednotlivých geometrických rozměrů v systému svařovacích parametrů. Každý z měřených geometrických údajů byl zanesen do grafu, v němž je na osách výkon zdroje a rychlost svařování. Přestože bylo při rozměrové analýze u každého svařovaného vzorku vyhodnoceno celkem 21 geometrických údajů, pro podrobné vyhodnocení experimentu byly graficky zpracovány pouze 4 nejdůležitější údaje: velikost koutového svaru „a“, šířka koutového svaru „w“, maximální průvar „ v_{max} “ a délka svarové lázně „ L_C “. Ostatní hodnocené a graficky zpracované geometrické údaje (rozměry: „b“, „ b_{max} “, „c“, „e“, „p“, „ x_{max} “, úhly: „ α “, „ β_1 “, „ β_2 “, plocha „ P_C “) jsou uvedeny v přílohách č. 5–13.

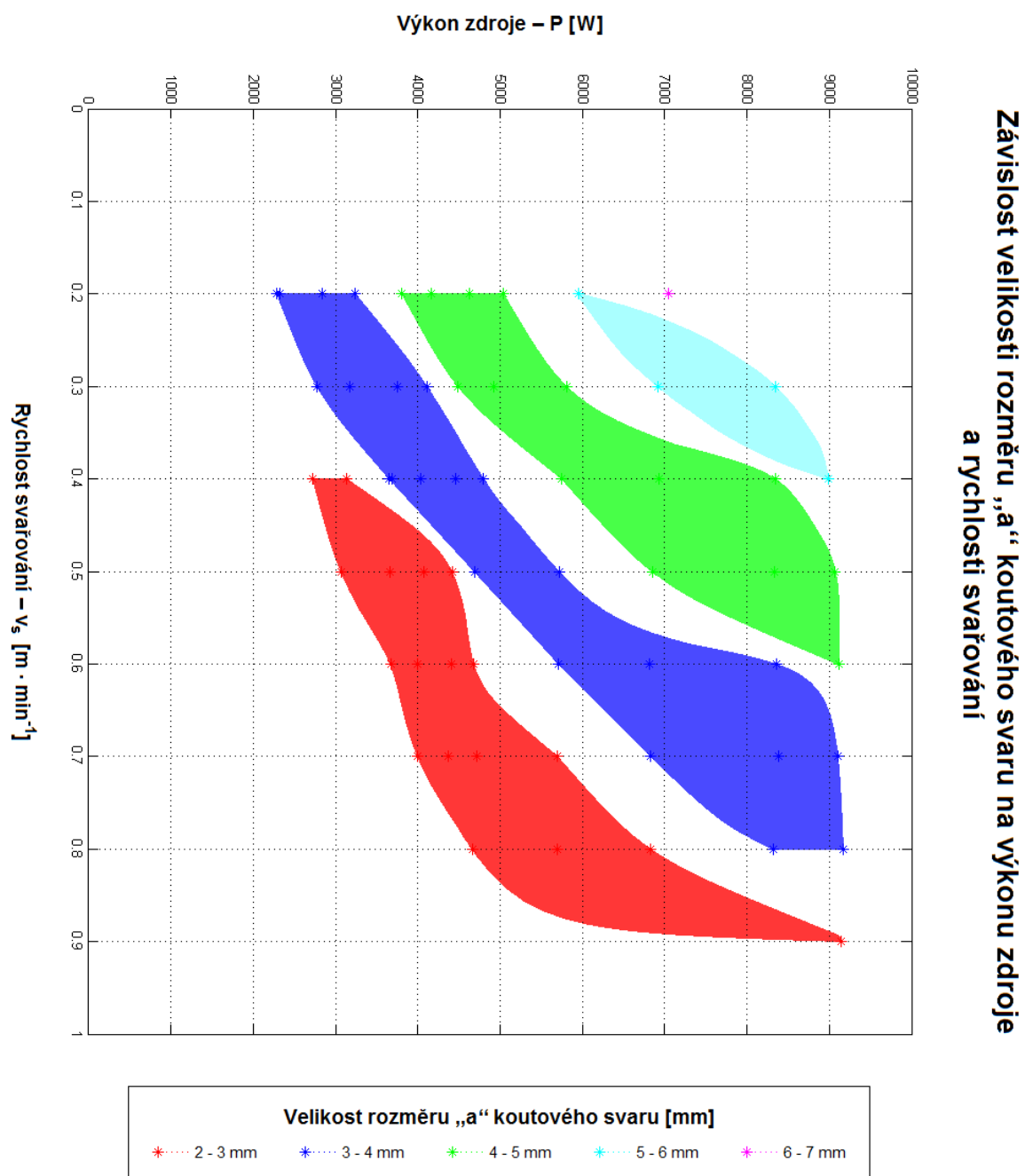
Jedním z velmi důležitých hodnocených údajů, který bývá mimo jiné předepsán i na technických výkresech, je rozměr „a“ – velikost koutového svaru. Tento rozměr je používán jako základní konstrukční i technologický výpočtový údaj při projektování svařovaných ocelových součástí a konstrukcí. Grafy 3.1.1–3.1.3 znázorňují rozměr „a“ ve výše popsáných závislostech, rozměr „a“ je zde rozdělen po 1 mm. Vzniklé parametrické oblasti, které jsou nejvíce zřejmé z plošného grafu 3.1.2, pak nacházejí uplatnění při různých simulačních výpočtech.

Obdobným způsobem je v grafech 3.2.1–3.2.3 znázorněn rozměr „w“ – šířka koutového svaru, dále v grafech 3.3.1–3.3.3 rozměr „ v_{max} “ – maximální průvar a konečně v grafech 3.4.1–3.4.3 rozměr „ L_C “ – délka svarové lázně. Rozměry „w“ a „ v_{max} “ lze také využít při konstrukčních či technologických výpočtech. Společně s rozměrem „ L_C “ se však tyto údaje spíše uplatňují při matematickém popisu zdroje tepla a jeho simulačních výpočtech.

Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování

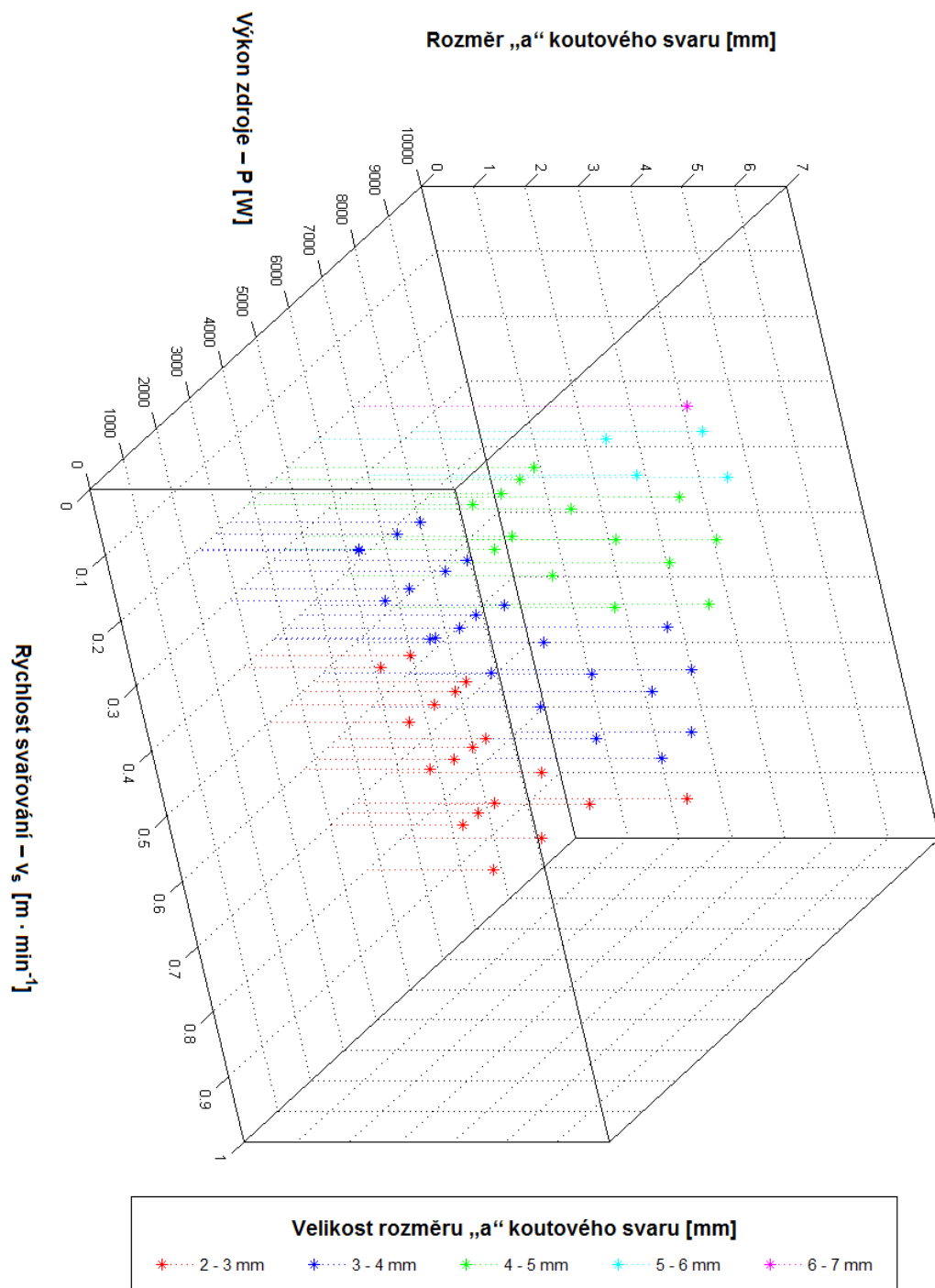


Graf 3.1.1: Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



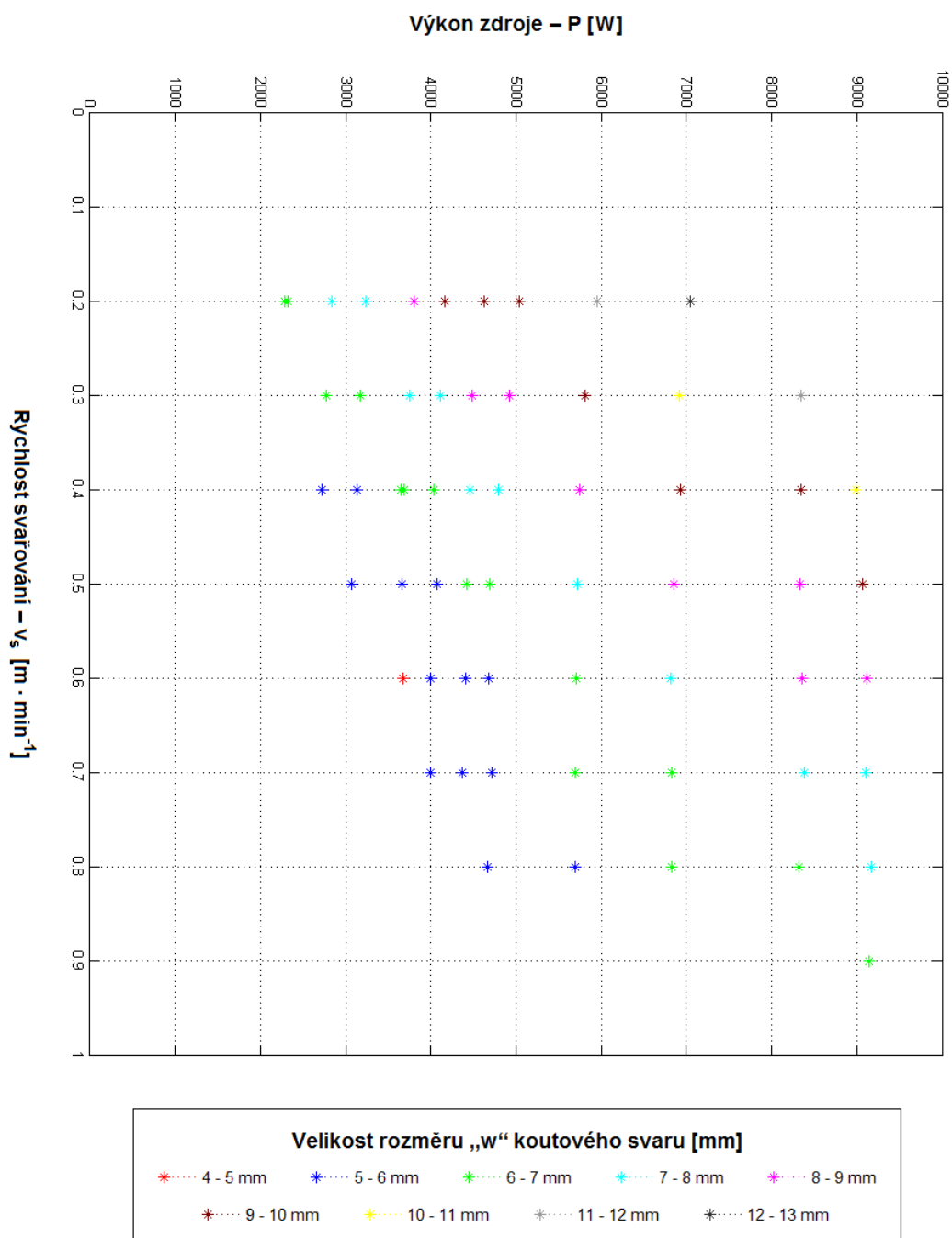
Graf 3.1.2: Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch

Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování



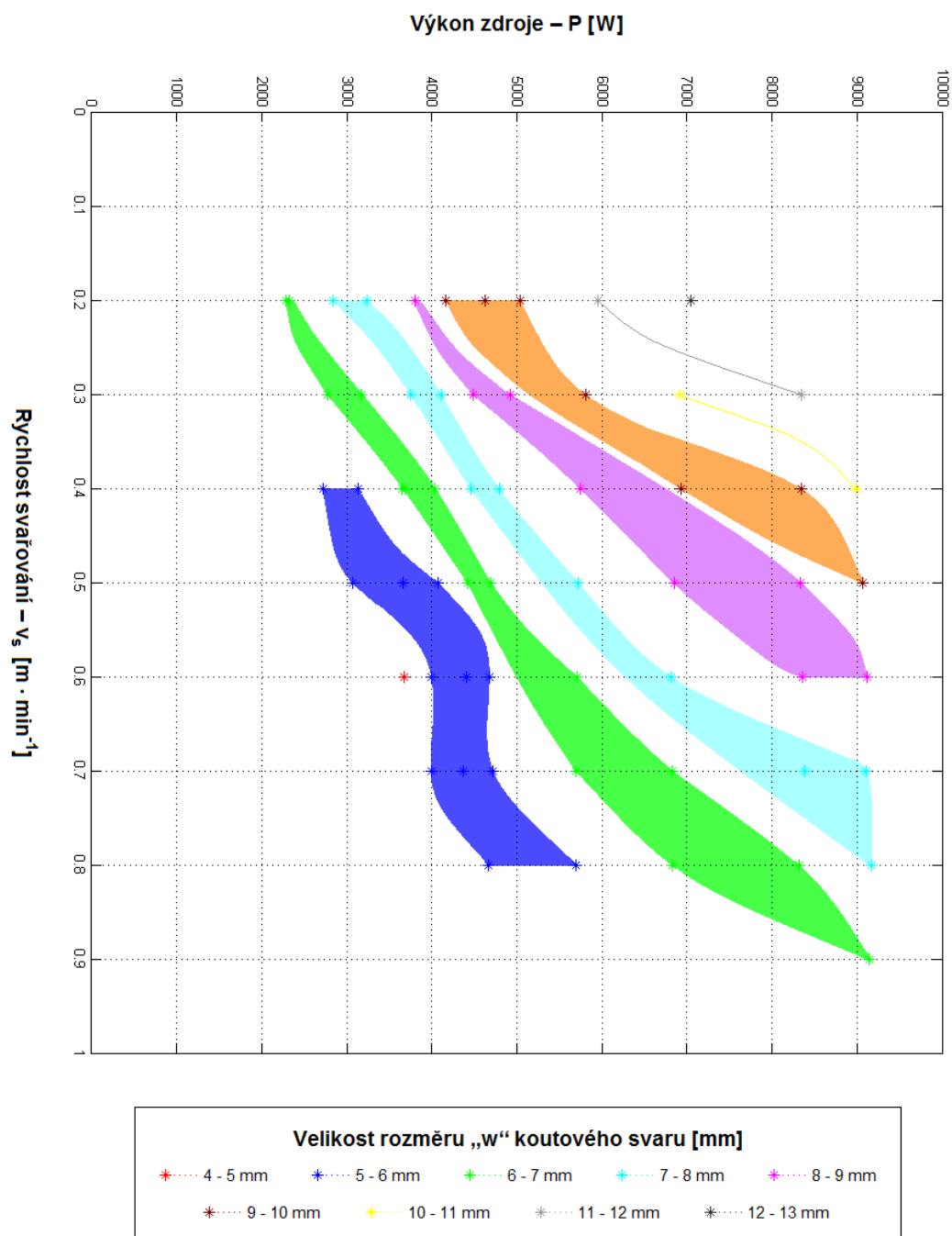
Graf 3.1.3: Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů

Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování



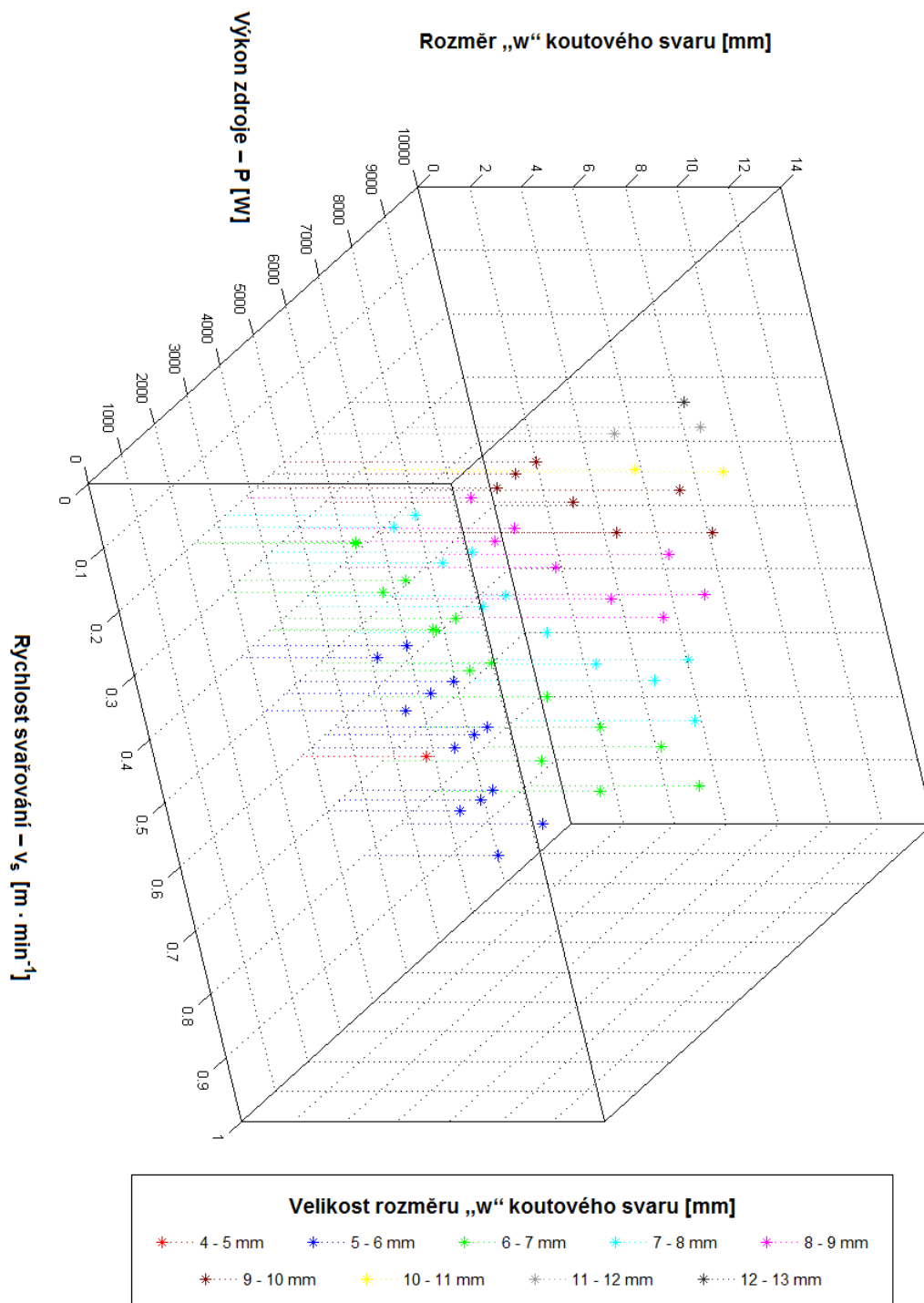
Graf 3.2.1: Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů

**Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje
a rychlosti svařování**



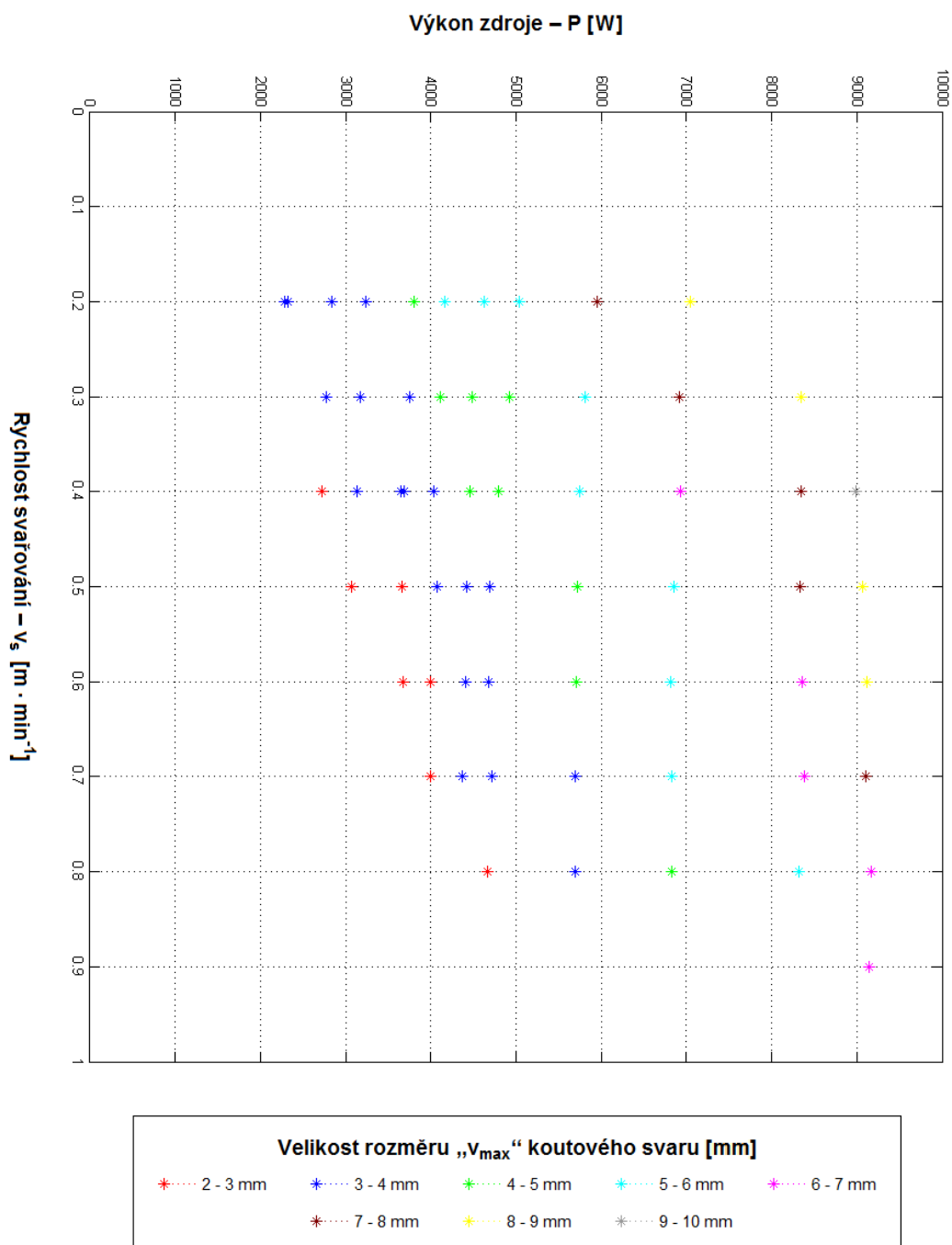
Graf 3.2.2: Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje
a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch

Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování

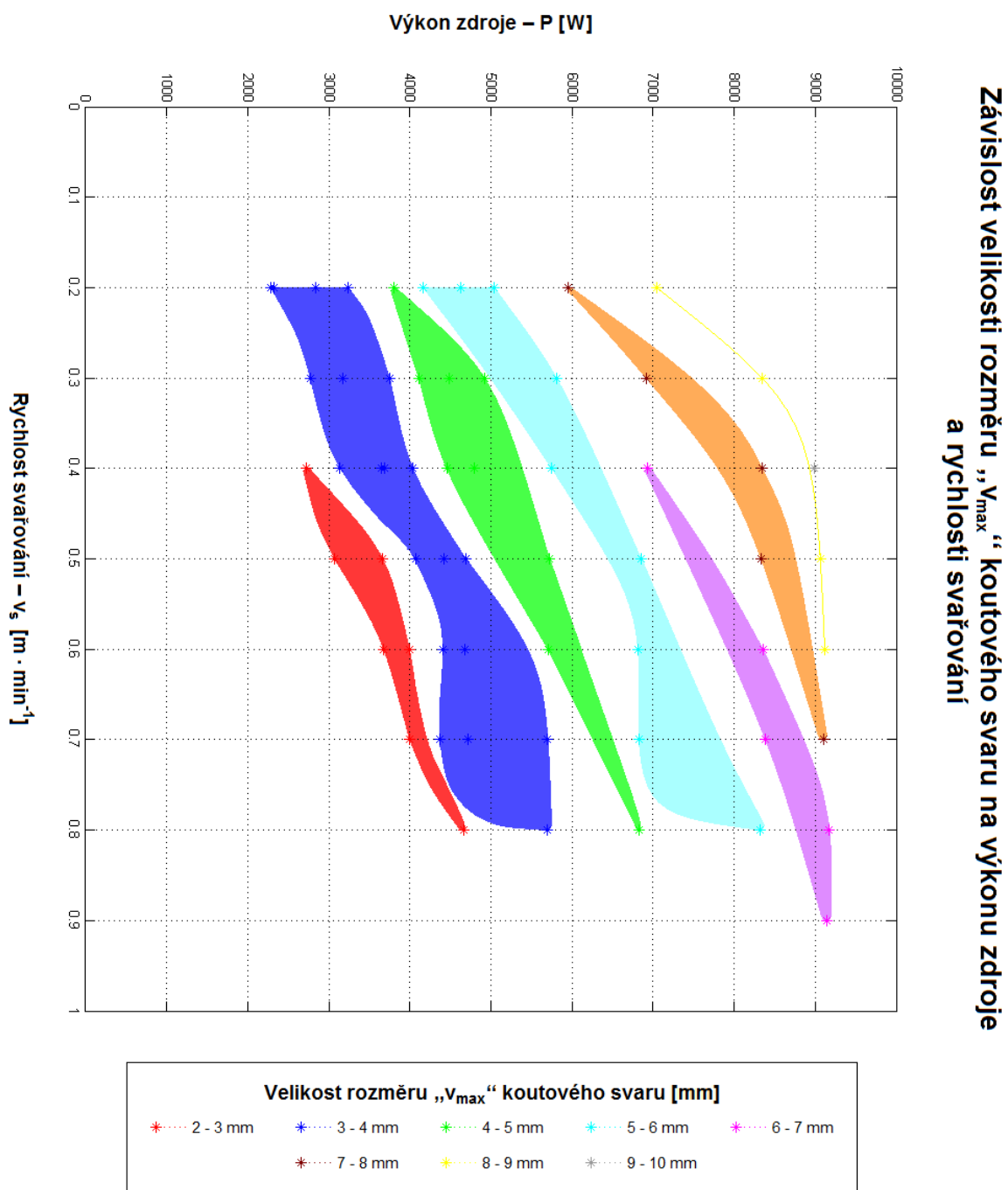


Graf 3.2.3: Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů

Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování

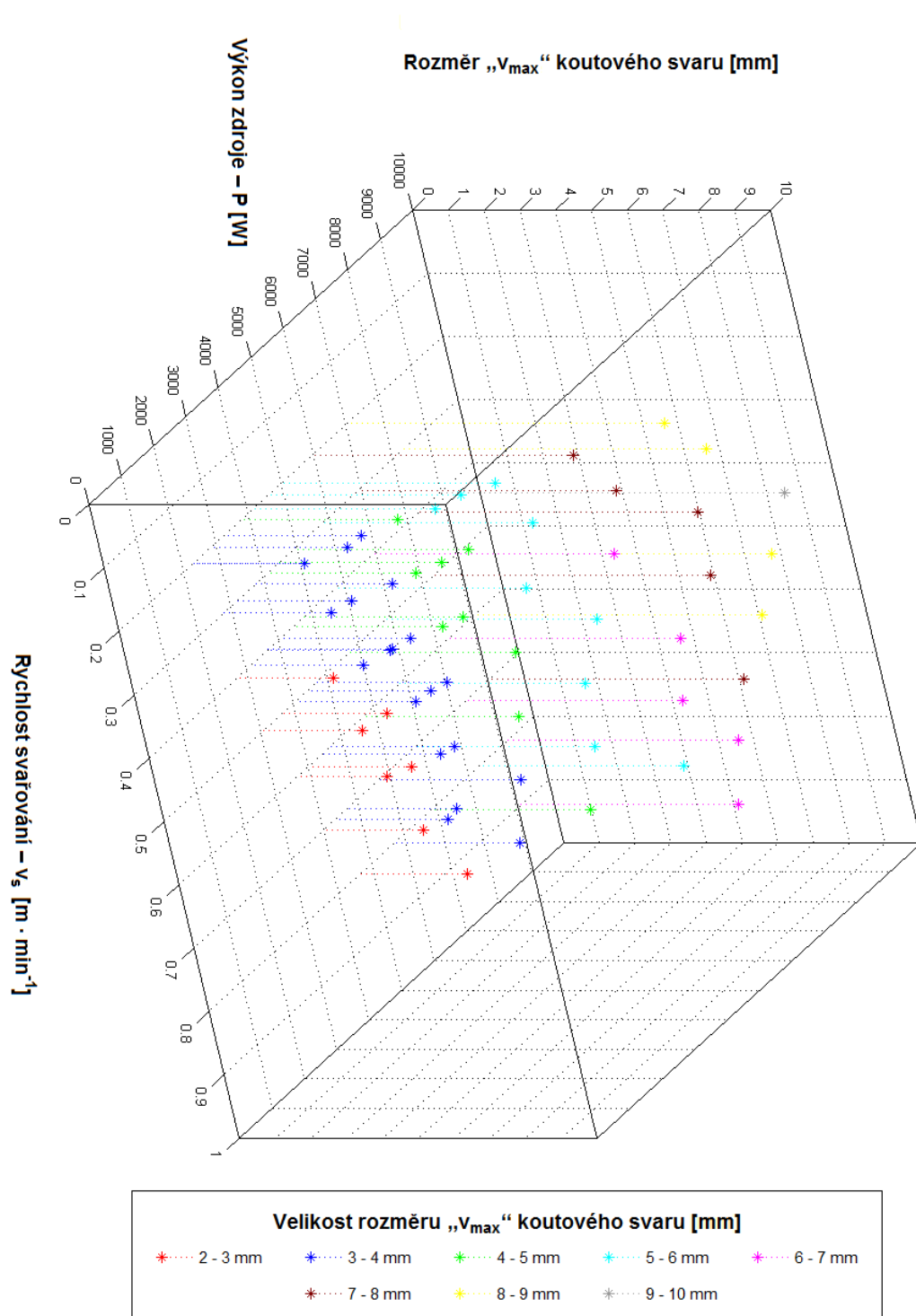


Graf 3.3.1: Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



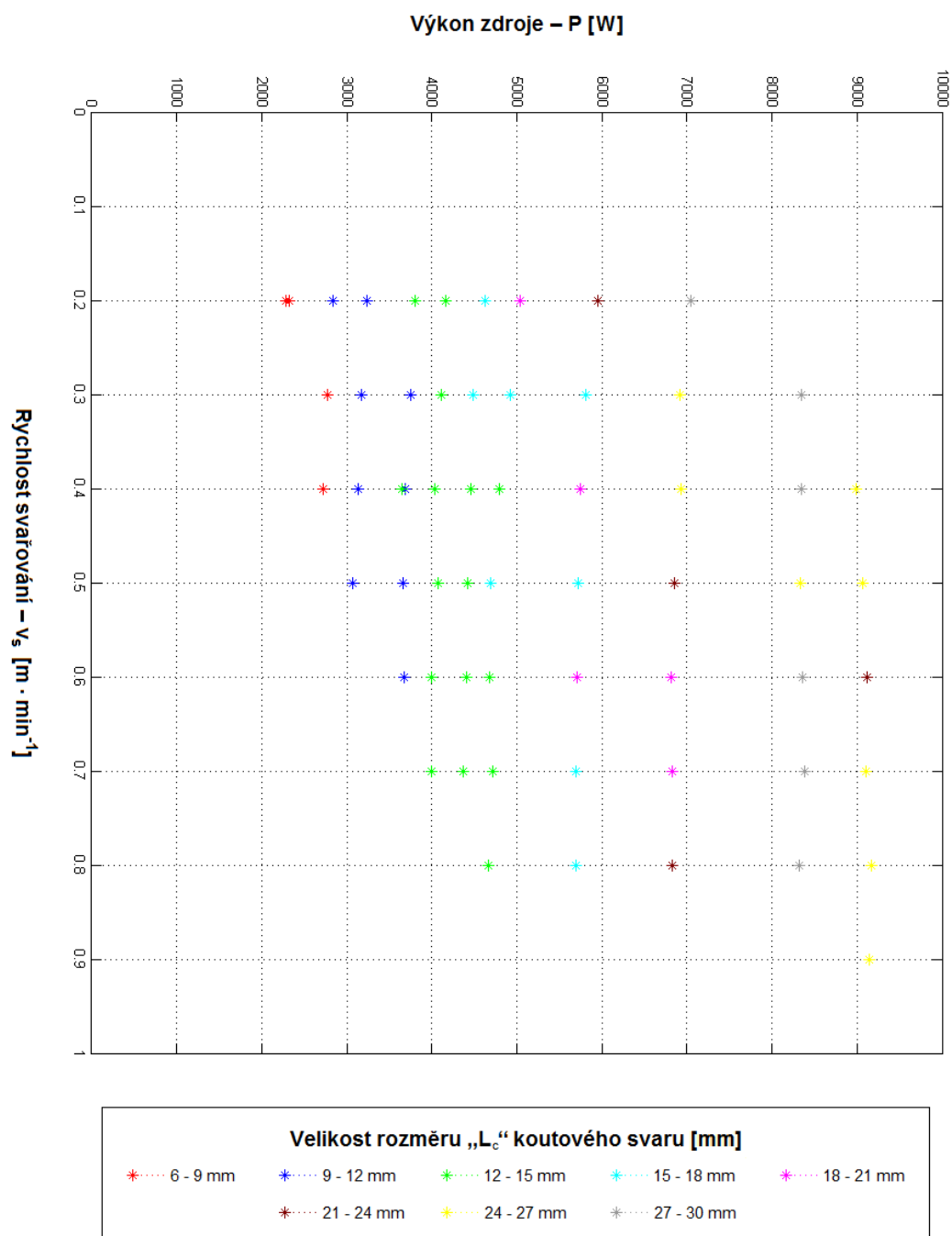
Graf 3.3.2: Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch

Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování

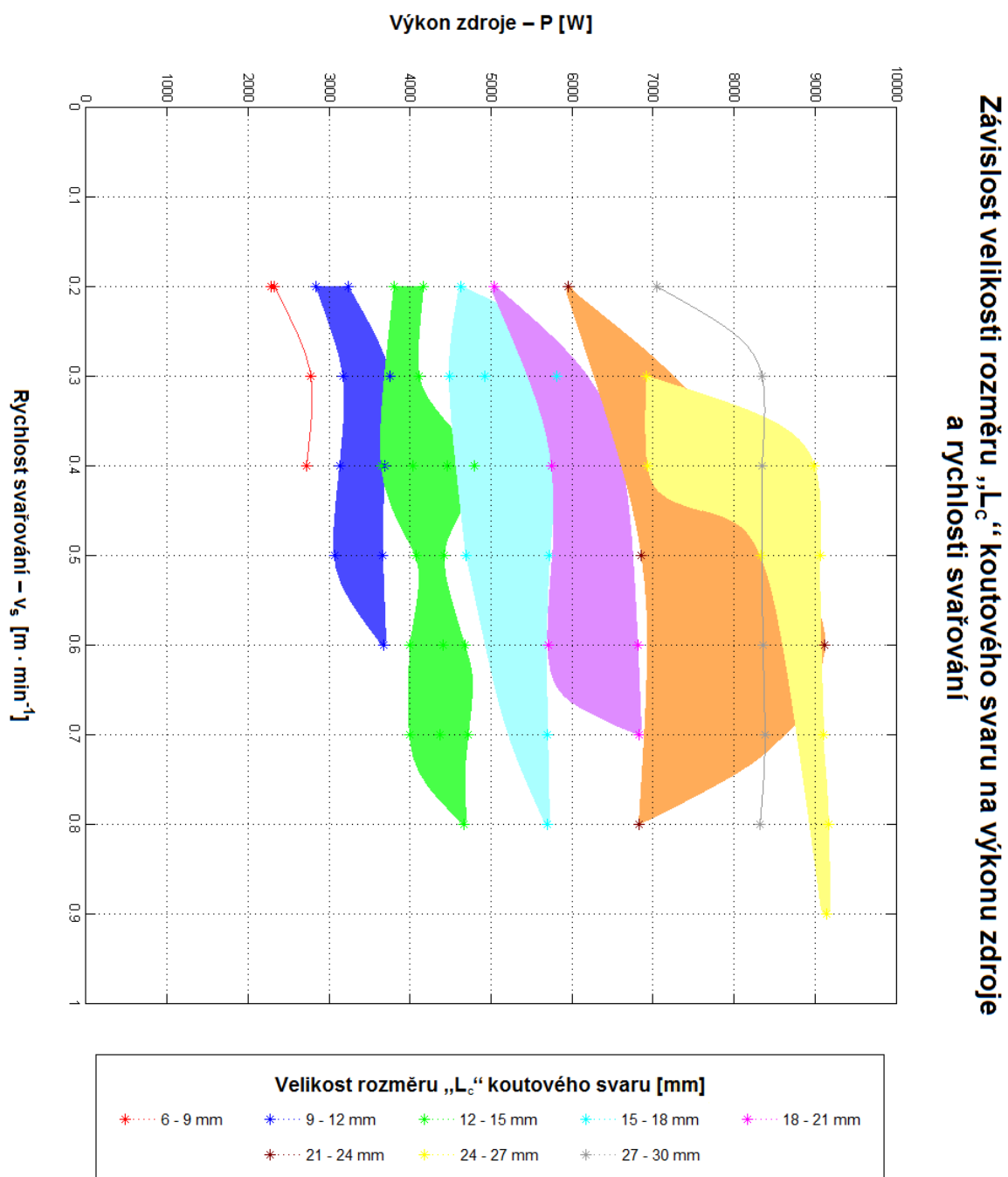


Graf 3.3.3: Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů

Závislost velikosti rozměru „L_c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování

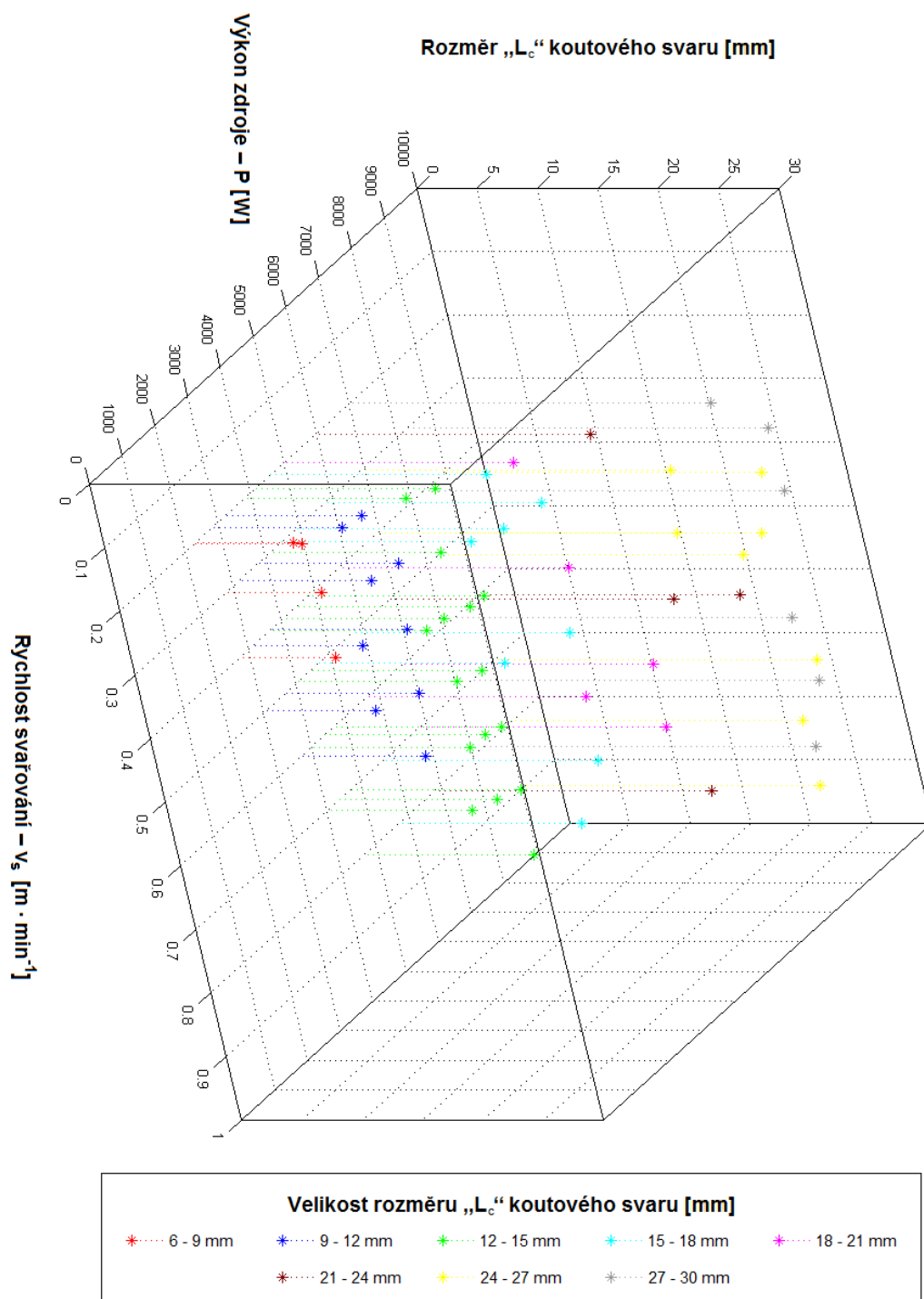


Graf 3.4.1: Závislost velikosti rozměru „L_c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



Graf 3.4.2: Závislost velikosti rozměru „L_c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch

Závislost velikosti rozměru „L_c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování



Graf 3.4.3: Závislost velikosti rozměru „L_c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů

4 Závěr

Geometrie svarové lázně má výrazný podíl na způsobu, kterým probíhají metalurgické děje při svařování, ty zase významně ovlivňují celkovou kvalitu svaru (povrchové a vnitřní vady). Vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně je proto důležitý z více hledisek.

Predikce geometrie svarové lázně je možná na základě předchozích zkušeností a pouze s určitou pravděpodobností, je však vždy nutné pamatovat na to, že skutečný tvar svarové lázně je nezbytně experimentálně ověřit. Jednu z největších překážek při predikci geometrie svarové lázně působí skutečnost, že veškeré parametry mající vliv na výslednou geometrii svarové lázně jsou mezi sebou vázány, a navíc se také vzájemně ovlivňují. Při jakékoli změně svařovacích parametrů dochází rovněž ke změně geometrie svarové lázně, přičemž rozsah této změny závisí na měněném svařovacím parametru a rozsahu jeho změny. Mimo tyto přímé vstupní veličiny mají na geometrii svarové lázně významný vliv také děje probíhající uvnitř svarové lázně, nejvýznamnější vliv má proudění v tavné lázni.

Pro dokonalé prozkoumání všech vlivů na geometrii svarové lázně by bylo zapotřebí obrovského počtu experimentů, což je velice nákladné a časově náročné. Experimentálně zjištěné poznatky spojené s tvarem svarové lázně mají na druhou stranu nezastupitelný podíl v případě ověření a aplikace simulačních výpočtů, které v současné době nacházejí v technické praxi stále větší uplatnění vlivem zvyšujících se požadavků na ekonomii a efektivitu výrobních procesů. Aby bylo možné simulačních výpočtů efektivně využít, je potřebné zajistit přesnost jejich výsledků. Zmíněnou přesnost pak lze účinně hodnotit pouze srovnáním oněch výsledků s výsledky zjištěnými experimentálně.

Cílem této diplomové práce proto bylo na základě provedených experimentů zjistit a popsat vliv základních svařovacích parametrů (svařovací rychlost, svařovací napětí a svařovací proud) na tvar a rozměry svarové lázně u koutového svaru z materiálu 11 373, tloušťky 5 mm při svařování metodou MAG. Během experimentu bylo realizováno celkem 90 svarů (tab. 3.7.1–3.7.2, sloup. 3), u kterých byly monitorovány svařovací parametry (příloha č. 2, list č. 1–2, tab. 9.1.1–9.1.2). U všech takto experimentálně vytvořených svarů byla zároveň měřena geometrie svarové lázně (příloha č. 3, list č. 1–4, tab. 9.2.1–9.2.4). Získané geometrické údaje byly zpracovány do grafické podoby tak, aby bylo možné na základě zjištěných údajů s vysokou pravděpodobností předpokládat vývoj geometrie svarové lázně i pro jiné (experimentálně neověřené) svařovací parametry. Grafické vyhodnocení se týkalo celkem 21 rozdílných geometrických údajů.

Nejdůležitější z nich (velikost koutového svaru „a“, šířka koutového svaru „w“, maximální průvar „ v_{max} “, délka svarové lázně „ L_c “) byly uvedeny v diplomové práci, ostatní jsou uvedeny v její příloze. Celkem byly vytvořeny 3 různé typy grafů (2D bodový graf, 2D plošný graf, 3D bodový graf). Jako nejvýhodnější z těchto grafů se z hlediska jednoduchosti použití jeví 2D plošný graf (graf 3.1.2, graf 3.2.2, graf 3.3.2, graf 3.4.2). V případě potřeby je možné použitím menšího intervalu rozdělení daného geometrického rozměru u kteréhokoli grafu vytvořit více parametrických oblastí. Hranice vzniklých oblastí by nicméně bylo pro potřebu přesnějších výsledků nutné ověřit dalšími experimenty. Bylo by také nesporně zajímavé předložit grafické zpracování všech měřených geometrických údajů nebo graficky zpracovat např. závislost určitého geometrického údaje na výkonu zdroje pro jednotlivé rychlosti svařování. Protože je však tato činnost časově značně náročná a rozsah diplomové práce je také limitován, bude již tato záležitost úkolem dalších diplomových prací.

Je velmi důležité uvědomit si, že zde prezentované závěry nelze aplikovat všeobecně. Uvedené závěry byly stanoveny pouze pro základní materiál 11 373 (resp. pro skupinu materiálů stejných nebo podobných teplotně-fyzikálních vlastností), dále pro ochrannou atmosféru EUROMIX® M21, složenou z 82 % Ar a 18 % CO₂ a přídavný drát ESAB OK AUTROD 12.51 o průměru 1,2 mm. Uvedená kombinace základního materiálu, ochranné atmosféry a přídavného drátu je v současné době v technické praxi při svařování ocelových součástí a konstrukcí využívána nejvíce. V případě rozšiřujících experimentů lze samozřejmě uvažovat i ochranný plyn či přídavný drát ostatních výrobců. Pro porovnání či rozšíření výsledků je však nutné stejné chemické složení ochranné atmosféry a přídavného drátu. V případě přídavného drátu samozřejmě také stejný průměr.

**Tato práce vznikla za podpory grantového projektu GAČR 101/09/P176
a projektu studentské grantové soutěže SGS 2822.**

5 Seznam použité literatury

- [1] AMBROŽ, O.: *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 1: Všeobecný úvod do technologie svařování, s. 13–24.
- [2] UHER, V.: *Zváracie metódy a zariadenia*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2000. 616 s. ISBN 80-85771-84-5. Kapitola 1: Všeobecný úvod do technologie zvárania, s. 15–34.
- [3] *Historie svařování* [online]. c 2006–2008, Poslední revize 14. 6. 2006 [cit. 30. 9. 2009]. Dostupné z: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006061401>>.
- [4] DVOŘÁK, K.: *Historie svařování v českých zemích: Úvod do historie svařování Příspěvek č. 2: POČÁTKY SPOJOVÁNÍ KOVŮ* [online]. Poslední revize 17. 3. 2008 [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <<http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=239>>.
- [5] FRONIUS WELS. *Podklady pro školení svařování MIG/MAG* [online]. Přeložil HROMÁDKA, L. Praha, 2005. Poslední revize 25. 10. 2005. 39 s. [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <<http://www.vossost.cz/pk/Data/PDF/Kurz%20MIG%20MAG.pdf>>.
- [6] KUBÍČEK, J.: *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 5: Elektrický oblouk, s. 73–85.
- [7] KUNCIPÁL, J.; PILOUS, V.; DUNOVSKÝ, J.: *Nové technologie ve svařování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 291 s.
- [8] ORSZÁGH, V.; ORSZÁGH, P.: *Zváracie metódy a zariadenia*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2000. 616 s. ISBN 80-85771-84-5. Kapitola 7: Úvod do zvárania oblúkom v ochranných plynoch, s. 129–152.
- [9] KUBÍČEK, J.: *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 7: Úvod do obloukového svařování v ochranných plynech, s. 109–117.
- [10] ORSZÁGH, V.; ORSZÁGH, P.: *Zváracie metódy a zariadenia*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2000. 616 s. ISBN 80-85771-84-5. Kapitola 9: Zváranie elektrickým oblúkom taviacou sa elektrodou v ochranných plynoch (Zvaranie MIG/MAG), s. 193–239.

- [11] KANDUS, B.: *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 6: Zdroje proudu pro svařování elektrickým obloukem, s. 87–108.
- [12] KUBÍČEK, J.: *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 9: Svařování metodou MIG/MAG, s. 147–187.
- [13] MEŠKO, J.; MIČIAN, M.: *Metódy hodnotenia stability horenia elektrického oblúka pri zváraní v ochranných atmosférach* [online]. *Ocelové konstrukce*, Poslední revize 17. 12. 2008 [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/metody-hodnotenia-stability-horenia-elektrickeho-obluka-pri-zvarani-v-ochrannych-atmosferach/>.
- [14] HUDEC, Z.: *Svařované konstrukce a postupy svařování*. (přednáška) Liberec: TU v Liberci, 15. 12. 2008.
- [15] KOPŘIVA, R.: *Technológia zvarania v ochranných plynoch metódou MIG/MAG*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 1993. 194 s.: 41 příl. ISBN 80-85771-004-4.
- [16] HUDEC, Z.: *Svařované konstrukce a postupy svařování*. (přednáška) Liberec: TU v Liberci, 29. 9. 2008.
- [17] MALINA, Z.: *Základní kurz svařování MIG/MAG se souborem testových otázek*. 7. vyd. Ostrava: Zeross, 2008. 161 s. ISBN 80-86698-09-2.
- [18] HUDEC, Z.: *Optimalizace konstrukčních a technologických parametrů koutových svarů zhotovených metodou MAG: disertační práce*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Katedra strojírenské technologie, 2005. 103 s., školitel doc. Ing. Heinz Neumann, Csc.
- [19] NEUMANN, H.; HUDEC, Z.; MORAVEC, J.: *Vliv rychlosti svařování na účinnost tavení materiálu při MAG svařování* [online]. *MM Průmyslové spektrum*, Poslední revize 14. 4. 2006, [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/pdf/c060436.pdf>.
- [20] ESAB VAMBERK. *Problémy při obloukovém svařování* [online]. Poslední revize 23. 5. 2006. 7 s. [cit. 13. 12. 2009]. Dostupné z: http://products.esab.com/ESABImages/defects_cz.pdf.

- [21] CHUDÍK, I.: *Výběr ochranných plynů pro obloukové svařování* [online]. *Ocelové konstrukce*, Poslední revize 17. 12. 2008 [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/vyber-ochrannych-plynu-pro-obloukove-svarovani/>>.
- [22] BLASČÍK, F. a kol.: *Technológia tvárnenia zlievárenstva a zvárania*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988. 832 s.
- [23] MESSER TATRAGAS. *Ochranné plyny na zváranie* [online]. Poslední revize 21. 9. 2004. 66 s. [cit. 30. 6. 2009]. Dostupné z: <http://www.messer.sk/Rozne/Ochranne_plyny.pdf>.
- [24] KUBÍČEK, J.: *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 8: Svařování metodou WIG, s. 117–145.
- [25] STANĚK, V.: *Svařování pozinkovaných plechů elektrickým obloukem metodou MAG* [online]. Poslední revize 27. 12. 2005. [cit. 10. 2. 2010]. Dostupné z: <<http://www.svarak.cz/c/cz/svarovani-pozinkovanych-plechu-mig-pajeni.htm>>.
- [26] HLA VATÝ, I.: *Systém pro monitorování a dokumentaci procesu svařování pomocí výpočetní techniky WeldMonitor* [online]. Poslední revize 5. 4. 2008. 9 s. [cit. 12. 4. 2010]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/Vyuka/WeldMonitor_final.pdf>.
- [27] ESAB VAMBERK. *Výběr nepoužívanějších druhů svařovacích materiálů* [online]. Poslední revize 30. 3. 2009. 28 s. [cit. 12. 4. 2010]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/ESABvyber2009_cz_web.pdf>.
- [28] AIR PRODUCTS. *Prohlášení výrobce o složení plynu Euromix® M21* [online]. Poslední revize 30. 10. 2009. 1 s. [cit. 12. 4. 2010]. Dostupné z: <http://www.airproducts.cz/prohlasenivyrobce/pdf/Plyny/PROHLASENI_VYROBCE_Euromix_M21.pdf>.

6 Seznam obrázků

Obr. 1.1	Patent obloukového svařování – N. de Benardos & S. Olszewski [3].....	- 11 -
Obr. 2.1	Hlavní části elektrického oblouku [6].....	- 13 -
Obr. 2.2	Rozdělení metod svařování v ochranné atmosféře [5]	- 17 -
Obr. 2.3	Sestava svařovacího zařízení pro svařování metodou MAG [5].....	- 18 -
Obr. 2.4	Princip svařování metodou MAG [9]	- 18 -
Obr. 2.5	Plochá charakteristika zdroje	- 20 -
Obr. 2.6	Základní rozdělení přenosu kovu při svařování v ochranné atmosféře [13].....	- 21 -
Obr. 2.7	Oblasti přenosu kovu v oblouku [12]	- 22 -
Obr. 2.8	Vliv napětí na oblouku na geometrii svarové lázně [15]	- 28 -
Obr. 2.9	Pracovní bod a oblast svařování [16].....	- 29 -
Obr. 2.10	Vliv svařovacího proudu na geometrii svarové lázně [15]	- 30 -
Obr. 2.11	Vliv proudové hustoty na geometrii svarové lázně [15]	- 31 -
Obr. 2.12	Porovnání tvaru svarové lázně při rozdílném zapojení.....	- 32 -
Obr. 2.13	Volná délka drátu [14].....	- 32 -
Obr. 2.14	Vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně [15]	- 35 -
Obr. 2.15	Označování poloh svařování [1]	- 36 -
Obr. 2.16	Trhliny ve svarovém spoji [20]	- 38 -
Obr. 2.17	Simulace tvaru svarové lázně [14]	- 40 -
Obr. 2.18	Vliv rozměru paprsku na směr a velikost proudění [14].....	- 42 -
Obr. 2.19	Porovnání rozstříku svarového kovu při použití Ar a CO ₂ [23].....	- 44 -
Obr. 2.20	Rozstřík svarového kovu [20].....	- 44 -
Obr. 2.21	Tepelná vodivost plynů [24]	- 45 -
Obr. 2.22	Typy plněných drátů [12]	- 47 -
Obr. 3.1	Uspořádání svařovacího pracoviště	- 50 -
Obr. 3.2	Svařovací zdroj Migatron BDH 550 PulsSync.....	- 51 -
Obr. 3.3	WeldMonitor Hardware [26]	- 53 -
Obr. 3.4	WeldMonitor Software – grafy průběhu měřených veličin – vzorek S5c003	- 54 -
Obr. 3.5	WeldMonitor Software – záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c003	- 54 -
Obr. 3.6	Optický světelný mikroskop Neophot 21	- 55 -
Obr. 3.7	Počítač s instalovaným programem NIS-Elements	- 56 -
Obr. 3.8	Rozměry svařence, naznačená místa řezů	- 57 -
Obr. 3.9	Vzorek upnutý v přípravku	- 58 -

Obr. 3.10	Úhlové ustavení nastehovaného vzorku	- 59 -
Obr. 3.11	Vzorek S5c003, označení míst řezů	- 61 -
Obr. 3.12	Vzorky připravené na zalití do Dentacrylu.....	- 62 -
Obr. 3.13	Vzorky zalité do Dentacrylu	- 62 -
Obr. 3.14	Geometrické rozměry svarové lázně.....	- 66 -
Obr. 3.15	Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c038	- 67 -
Obr. 3.16	Snímek makrostruktury vzorku S5c038.....	- 68 -
Obr. 3.17	Vyosení hubice hořáku	- 68 -
Obr. 3.18	Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c016	- 69 -
Obr. 3.19	Snímek makrostruktury vzorku S5c016.....	- 69 -
Obr. 3.20	Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c003	- 70 -
Obr. 3.21	Rozměry svarové lázně – vzorek S5c003.....	- 71 -
Obr. 3.22	Rozměrová analýza – vzorek S5c003.....	- 71 -
Obr. 3.23	Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c078	- 73 -
Obr. 3.24	Rozměry svarové lázně – vzorek S5c078.....	- 74 -
Obr. 3.25	Rozměrová analýza – vzorek S5c078.....	- 74 -

7 Seznam tabulek

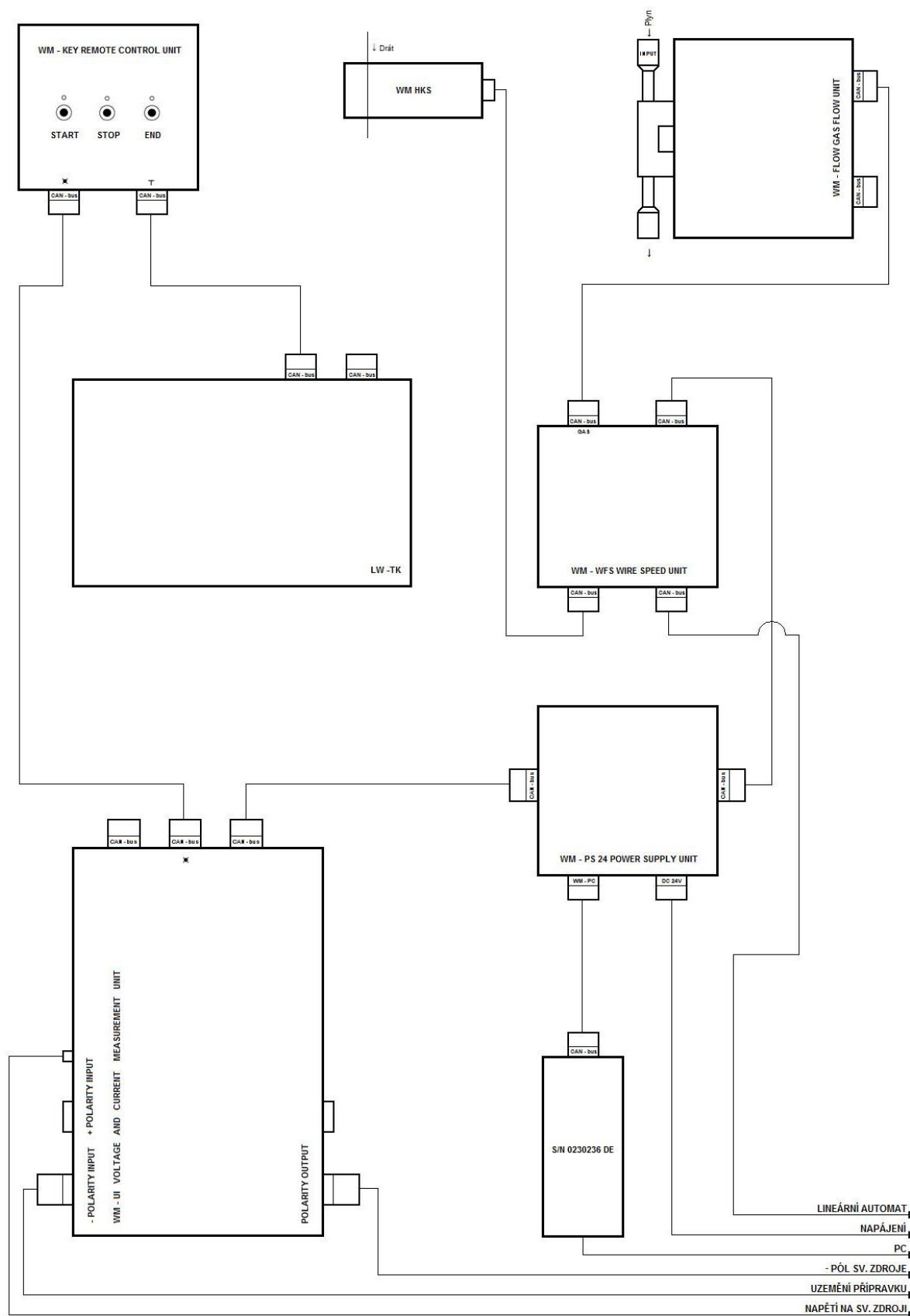
Tab. 2.1	Vliv směru svařování na tvar, rozměry a vady svaru [15].....	- 37 -
Tab. 3.1	Rozsah použitých rychlostí svařování v závislosti na svařovacím proudu.....	- 48 -
Tab. 3.2	Parametry svařovacího zdroje Migatronic BDH 550 PulsSync.....	- 51 -
Tab. 3.3	Průměrné svařovací parametry – vzorek S5c003	- 54 -
Tab. 3.4	Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 373	- 57 -
Tab. 3.5	Technické parametry svařovacího drátu ESAB OK AUTROD 12.51.....	- 59 -
Tab. 3.6	Technické parametry ochranného plynu EUROMIX® M21	- 60 -
Tab. 3.7.1	Seznam svařovaných vzorků.....	- 64 -
Tab. 3.7.2	Seznam svařovaných vzorků.....	- 65 -
Tab. 3.8	Svařovací parametry – vzorek S5c038	- 67 -
Tab. 3.9	Svařovací parametry – vzorek S5c016	- 69 -
Tab. 3.10	Svařovací parametry – vzorek S5c003	- 70 -
Tab. 3.11	Geometrické rozměry svarové lázně – vzorek S5c003	- 72 -
Tab. 3.12	Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 – vzorek S5c003	- 72 -
Tab. 3.13	Svařovací parametry – vzorek S5c078	- 73 -
Tab. 3.14	Geometrické rozměry svarové lázně – vzorek S5c078	- 75 -
Tab. 3.15	Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 – vzorek S5c078	- 75 -

8 Seznam grafů

Graf 3.1.1	Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů	- 77 -
Graf 3.1.2	Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch	- 78 -
Graf 3.1.3	Závislost velikosti rozměru „a“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů	- 79 -
Graf 3.2.1	Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů	- 80 -
Graf 3.2.2	Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch	- 81 -
Graf 3.2.3	Závislost velikosti rozměru „w“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů	- 82 -
Graf 3.3.1	Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů	- 83 -
Graf 3.3.2	Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch	- 84 -
Graf 3.3.3	Závislost velikosti rozměru „ v_{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů	- 85 -
Graf 3.4.1	Závislost velikosti rozměru „ L_C “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů	- 86 -
Graf 3.4.2	Závislost velikosti rozměru „ L_C “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch	- 87 -
Graf 3.4.3	Závislost velikosti rozměru „ L_C “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů	- 88 -

9 Seznam příloh

Příloha č. 1	Obr. 9.1 Schéma zapojení WeldMonitor Hardware
Příloha č. 2	Tab. 9.1.1 Svařovací parametry (list č. 1/2) Tab. 9.1.2 Svařovací parametry (list č. 2/2)
Příloha č. 3	Tab. 9.2.1 Geometrie svarové lázně (list č. 1/4) Tab. 9.2.2 Geometrie svarové lázně (list č. 2/4) Tab. 9.2.3 Geometrie svarové lázně (list č. 3/4) Tab. 9.2.4 Geometrie svarové lázně (list č. 4/4)
Příloha č. 4	Tab. 9.3.1 Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 (list č. 1/2) Tab. 9.3.2 Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 (list č. 2/2)
Příloha č. 5	Graf 9.1 Závislost velikosti rozměru „b“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 6	Graf 9.2 Závislost velikosti rozměru „b _{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 7	Graf 9.3 Závislost velikosti rozměru „c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 8	Graf 9.4 Závislost velikosti rozměru „e“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 9	Graf 9.5.1 Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů (list č. 1/3) Graf 9.5.2 Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch (list č. 2/3) Graf 9.5.3 Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů (list č. 3/3)
Příloha č. 10	Graf 9.6 Závislost velikosti rozměru „x _{max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 11	Graf 9.7 Závislost velikosti úhlu „α“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 12	Graf 9.8 Závislost velikosti úhlu „β ₁ “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů
Příloha č. 13	Graf 9.9 Závislost velikosti úhlu „β ₂ “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



Obr. 9.1: Schéma zapojení WeldMonitor Hardware

Příloha č. 2, list č. 1/2

Tab. 9.1.1: Svařovací parametry

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c001	100	0,2	131,3	17,4	0,195	0,5202	2,517	0,894	15,71
S5c002	100	0,2	133,2	17,4	0,198	0,5197	2,52	0,917	15,71
S5c015	100	0,2	133,7	17,4	0,201	0,5139	2,537	0,904	15,81
S5c043	100	0,2	131,3	17,4	0,204	0,4972	2,524	0,877	15,8
S5c003	120	0,2	163,4	17,4	0,197	0,6408	3,169	1,129	15,71
S5c004	120	0,3	159,2	17,4	0,29	0,4241	3,171	0,787	15,71
S5c005	120	0,4	156,2	17,4	0,398	0,3032	3,173	0,577	15,61
S5c016	120	0,2	163,1	17,5	0,2	0,6336	3,19	1,135	15,81
S5c017	120	0,3	159,5	17,5	0,3	0,4131	3,193	0,795	15,81
S5c018	120	0,4	156,4	17,5	0,405	0,3001	3,192	0,581	15,81
S5c038	120	0,2	158,5	17,5	0,201	0,6127	3,105	1,08	17,2
S5c039	120	0,3	158,8	17,5	0,295	0,4183	3,142	0,727	17,8
S5c040	120	0,4	153,4	17,6	0,395	0,3035	3,151	0,548	17,8
S5c006	140	0,2	183,1	17,7	0,196	0,7342	3,638	1,326	15,71
S5c007	140	0,3	178,9	17,7	0,295	0,4766	3,639	0,904	15,81
S5c008	140	0,4	176,2	17,8	0,396	0,3517	3,641	0,661	15,81
S5c009	140	0,5	172,2	17,8	0,494	0,2755	3,643	0,543	15,81
S5c020	140	0,2	181,2	17,8	0,199	0,7196	3,644	1,267	16,9
S5c021	140	0,2	179,9	17,8	0,202	0,7039	3,662	1,243	16,8
S5c022	140	0,3	176,1	17,9	0,297	0,4712	3,667	0,909	16,8
S5c023	140	0,4	169,1	17,9	0,401	0,3351	3,669	0,668	16,8
S5c024	140	0,5	164,4	17,8	0,501	0,2593	3,667	0,547	16,8
S5c041	140	0,2	179,5	17,8	0,202	0,7023	3,622	1,23	16,3
S5c042	140	0,3	176,8	17,9	0,3	0,4684	3,628	0,871	15,8
S5c123	160	0,2	196,9	19,3	0,195	0,8653	4,23	1,577	16,4
S5c124	160	0,3	194,2	19,3	0,294	0,5660	4,24	1,017	16,4
S5c012	160	0,4	192,2	19,2	0,401	0,4086	4,206	0,767	15,81
S5c027	160	0,4	189	19,3	0,403	0,4019	4,176	0,76	16,8
S5c013	160	0,5	190,7	19,2	0,499	0,3258	4,205	0,589	15,81
S5c014	160	0,6	191,7	19,2	0,605	0,2701	4,205	0,486	15,81
S5c010	160	0,2	202,6	19,1	0,197	0,8721	4,2	1,461	15,81
S5c011	160	0,3	198,7	19,1	0,295	0,5712	4,203	1,005	15,81
S5c030	160	0,2	198,8	19,2	0,203	0,8348	4,204	1,461	16,8
S5c025	160	0,3	191,9	19,3	0,301	0,5463	4,207	1,008	16,9
S5c026	160	0,3	192,4	19,3	0,302	0,5459	4,143	0,994	16,8
S5c028	160	0,5	184,6	19,4	0,502	0,3167	4,169	0,584	16,8
S5c029	160	0,6	185	19,3	0,602	0,2633	4,193	0,522	16,8
S5c121	180	0,2	212,1	19,6	0,199	0,9275	4,768	1,694	16,4
S5c031	180	0,3	209,8	19,6	0,3	0,6086	4,77	1,141	16,8
S5c122	180	0,4	203,8	19,8	0,393	0,4559	4,784	0,871	16,4
S5c084	180	0,5	207,7	19,6	0,503	0,3593	4,773	0,67	15,81
S5c036	180	0,6	202	19,8	0,615	0,2888	4,777	0,575	16,9
S5c037	180	0,7	201,6	19,8	0,706	0,2510	4,776	0,468	16,9
S5c019	180	0,4	208,8	19,6	0,404	0,4498	4,769	0,868	15,81
S5c032	180	0,2	217,6	19,6	0,205	0,9237	4,774	1,661	16,9
S5c033	180	0,4	208,9	19,6	0,402	0,4522	4,777	0,826	16,9
S5c035	180	0,5	206,2	19,7	0,507	0,3557	4,777	0,666	16,9

Příloha č. 2, list č. 2/2

Tab. 9.1.2: Svařovací parametry

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	Efektivní proud [A]:	Efektivní napětí [V]:	Rychlost svařování [m/min]:	Vnesené teplo [kJ/mm ²]:	Posuv drátu [m/min]:	Spotřeba drátu [m]:	Průtok plynu [l/min]:
S5c085	200	0,2	231,1	20	0,206	0,9962	5,336	1,854	15,91
S5c044	200	0,3	224,3	20	0,3	0,6639	5,312	1,232	15,8
S5c045	200	0,4	223,1	20	0,397	0,4990	5,317	0,924	15,8
S5c046	200	0,5	219,9	20,1	0,501	0,3917	5,32	0,79	15,8
S5c047	200	0,6	219,3	20,1	0,605	0,3235	5,318	0,617	15,8
S5c048	200	0,7	216,4	20,2	0,703	0,2761	5,323	0,525	15,8
S5c049	200	0,2	229,9	20	0,206	0,9910	5,325	1,762	15,8
S5c050	220	0,2	254,3	19,8	0,204	1,0959	5,891	2,05	15,8
S5c086	220	0,3	244,7	20,1	0,3	0,7279	5,904	1,369	15,91
S5c052	220	0,4	236,2	20,3	0,4	0,5322	5,893	1,07	15,8
S5c053	220	0,5	230,1	20,4	0,503	0,4143	5,844	0,814	16,1
S5c054	220	0,6	228,3	20,5	0,603	0,3446	5,865	0,725	16,1
S5c087	220	0,7	233,4	20,2	0,707	0,2961	5,908	0,611	15,91
S5c056	220	0,8	229,8	20,3	0,803	0,2579	5,873	0,536	16,1
S5c055	220	0,7	229	20,5	0,7	0,2978	5,874	0,633	16,1
S5c051	220	0,3	242,4	20,1	0,301	0,7187	5,894	1,415	15,8
S5c058	240	0,2	263,6	22,6	0,205	1,2903	6,817	2,199	16
S5c059	240	0,3	254,7	22,8	0,298	0,8652	6,824	1,579	16
S5c060	240	0,4	251	22,9	0,4	0,6380	6,825	1,183	16
S5c061	240	0,5	249,6	22,9	0,501	0,5066	6,826	0,961	16
S5c062	240	0,6	249,4	22,9	0,602	0,4212	6,826	0,785	16
S5c063	240	0,7	250	22,8	0,7	0,3615	6,832	0,726	16,1
S5c064	240	0,8	250,9	22,7	0,804	0,3145	6,835	0,589	16
S5c065	260	0,2	280,7	25,1	0,203	1,5410	7,677	2,544	16
S5c066	260	0,3	275,7	25,1	0,301	1,0208	7,68	1,783	16
S5c067	260	0,4	274,8	25,2	0,406	0,7573	7,686	1,335	16
S5c068	260	0,5	272	25,2	0,503	0,6050	7,686	1,076	16,1
S5c069	260	0,6	272,5	25	0,606	0,4991	7,69	0,89	16,1
S5c070	260	0,7	274,1	24,9	0,698	0,4341	7,685	0,792	16,1
S5c071	260	0,8	275,2	24,8	0,809	0,3746	7,685	0,72	16,1
S5c072	280	0,3	305,6	27,3	0,3	1,2347	8,617	1,984	16,1
S5c073	280	0,4	305,5	27,3	0,406	0,9121	8,642	1,566	16,1
S5c074	280	0,5	305,4	27,3	0,507	0,7301	8,624	1,215	16,1
S5c075	280	0,6	307,2	27,2	0,608	0,6102	8,61	1,019	16,1
S5c076	280	0,7	310,6	27	0,71	0,5244	8,631	0,921	16,1
S5c077	280	0,8	306	27,2	0,802	0,4608	8,626	0,746	16,1
S5c078	300	0,4	326,7	27,5	0,4	0,9973	9,502	1,69	16,2
S5c079	300	0,5	332,3	27,3	0,495	0,8137	9,513	1,378	16,2
S5c080	300	0,6	336,6	27,1	0,599	0,6761	9,526	1,147	16,2
S5c081	300	0,7	337,2	27	0,692	0,5842	9,532	0,973	16,2
S5c082	300	0,8	340,8	26,9	0,801	0,5082	9,533	0,862	16,2
S5c083	300	0,9	341,3	26,8	0,891	0,4558	9,537	0,798	16,2

Tab. 9.2.1: Geometrie svarové lázně

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	L _c [mm]:	L _b [mm]:	a [mm]:	b [mm]:	b _{max} [mm]:	c [mm]:	e [mm]:	p [mm]:	w [mm]:	x [mm]:	x _{max} [mm]:
S5c001	100	0.2	8,89	4,30	3,1120	4,3034	4,3753	4,4911	0,0000	1,3730	6,2097	0,0000	0,3147
S5c002	100	0.2	8,10	3,60	3,0889	4,4204	4,4910	4,3051	0,0000	1,2473	6,1792	0,0000	0,3648
S5c003	120	0.2	10,71	5,35	3,4916	5,1843	5,5471	4,7064	0,1103	1,6419	7,0006	0,1496	0,8072
S5c004	120	0.3	7,97	3,24	3,0179	4,1302	4,4784	4,4236	0,0000	0,9797	6,0533	0,0000	0,3484
S5c005	120	0.4	7,96	3,31	2,6539	3,8239	4,0235	3,6712	0,0000	0,7385	5,3120	0,0000	0,4241
S5c006	140	0.2	11,25	5,85	3,6770	5,1600	5,7610	5,2529	0,2099	1,6880	7,3310	0,1590	0,6240
S5c007	140	0.3	11,00	5,08	3,2228	4,6433	4,6816	4,4328	0,0000	1,2018	6,4293	0,0000	0,7944
S5c008	140	0.4	9,15	3,53	2,9634	4,0208	4,6335	4,3689	0,0874	0,6404	5,9274	0,1362	0,3230
S5c009	140	0.5	9,10	3,41	2,6913	3,6888	4,2560	3,9143	0,0000	0,7392	5,3716	0,0000	0,1186
S5c123	160	0.2	13,42	3,53	4,3219	5,7530	6,5541	6,5997	0,0000	1,3780	8,7515	0,0000	0,3041
S5c124	160	0.3	11,65	2,92	3,5404	4,6227	5,7411	5,4727	0,0690	1,0886	7,1428	0,0895	0,2610
S5c012	160	0.4	11,25	3,92	3,0996	4,6450	4,8720	4,1545	0,0000	0,7622	6,2357	0,0000	1,1356
S5c013	160	0.5	11,07	2,65	2,7976	3,9330	4,2826	3,9683	0,1010	0,8757	5,5936	0,1330	0,5542
S5c014	160	0.6	10,35	2,84	2,4106	3,5004	3,9231	3,3145	0,0506	0,9306	4,8262	0,0475	0,6073
S5c121	180	0.2	14,93	6,14	4,6530	6,4371	7,6139	6,6794	0,2142	1,2309	9,2789	0,3054	0,7390
S5c031	180	0.3	14,16	5,88	3,7414	6,2420	6,7980	4,6563	0,2718	0,9133	7,7909	0,4541	0,9575
S5c122	180	0.4	13,41	4,19	3,3281	4,5233	5,2689	4,9426	0,2745	0,9521	6,6734	0,3790	0,6897
S5c084	180	0.5	13,09	3,98	2,9424	4,5942	4,8146	3,8258	0,0000	0,7755	5,9687	0,0000	1,3089
S5c036	180	0.6	13,17	4,42	2,6627	4,3462	4,4076	3,3705	0,0000	0,8306	5,4952	0,0000	1,2239
S5c037	180	0.7	12,03	3,36	2,5368	3,8906	4,0022	3,3286	0,0000	0,8408	5,1168	0,0000	0,8741
S5c085	200	0.2	17,82	4,09	4,7012	6,8725	7,2922	6,4404	0,5348	1,4603	9,4045	0,7753	1,7147
S5c044	200	0.3	15,74	6,07	4,0096	6,4017	6,6960	5,1351	0,3599	1,0691	8,1985	0,5702	1,3379
S5c045	200	0.4	14,44	5,64	3,3901	5,8406	5,9251	4,1647	0,0000	1,0720	7,1674	0,0000	1,6469
S5c046	200	0.5	14,22	4,53	2,9338	4,9522	5,0082	3,6436	0,0000	1,0595	6,1456	0,0000	1,4866
S5c047	200	0.6	13,28	4,05	2,7708	4,5374	4,7812	3,4964	0,2466	0,8082	5,7187	0,3927	1,3935
S5c048	200	0.7	13,12	4,50	2,5939	4,3943	4,6661	3,2065	0,2959	0,7761	5,4355	0,4443	1,3963
S5c050	220	0.2	18,98	6,81	4,7269	7,6385	7,7717	6,0086	0,6053	2,1863	9,7150	1,0934	2,2571
S5c086	220	0.3	17,22	4,2	4,0874	6,6302	7,0166	5,1761	0,6052	1,2394	8,4142	0,9685	1,6141
S5c052	220	0.4	14,65	4,27	3,7263	5,9496	6,4622	4,7794	0,5526	0,8713	7,6324	0,9030	1,3089

Tab. 9.2.2: Geometrie svarové lázně

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [mm/min]:	z [mm]:	Z _{max} [mm]:	v [mm]:	V _{max} [mm]:	α [°]:	β ₁ [°]:	β ₂ [°]:	P _c [mm ²]:	P _Δ [mm ²]:	P _η [mm ²]:
S5c001	100	0.2	0,0000	0,0000	3,1120	3,1120	46,34	136,29	113,00	14,3912	9,7949	4,4216
S5c002	100	0.2	0,0000	0,0000	3,0889	3,0889	44,09	134,37	118,80	13,9926	9,6480	3,9128
S5c003	120	0.2	0,1234	0,3130	3,6150	3,8046	41,72	119,14	122,42	19,8463	12,3130	5,6253
S5c004	120	0.3	0,0000	0,0000	3,0179	3,0179	47,08	130,99	133,26	13,2744	9,2562	3,0759
S5c005	120	0.4	0,0000	0,0356	2,6539	2,6895	43,88	134,00	135,94	9,6504	7,1653	1,6399
S5c006	140	0.2	0,0830	0,1740	3,7600	3,8510	45,34	122,01	109,77	22,1304	13,6820	6,3353
S5c007	140	0.3	0,0000	0,0050	3,2228	3,2278	43,42	134,18	115,51	15,6267	10,4362	3,9597
S5c008	140	0.4	0,0811	0,1956	3,0445	3,1590	47,39	134,30	129,82	12,5613	8,9052	1,6385
S5c009	140	0.5	0,0000	0,0629	2,6913	2,7542	47,16	138,04	133,43	10,4522	7,3320	1,6294
S5c123	160	0.2	0,0000	0,0397	4,3219	4,3616	48,98	136,19	111,44	28,1071	18,8865	6,0563
S5c124	160	0.3	0,0596	0,2979	3,6000	3,8383	49,81	139,65	122,23	20,5701	12,6119	3,9469
S5c012	160	0.4	0,0000	0,3586	3,0996	3,4582	41,34	131,79	129,60	15,3586	9,7586	2,1295
S5c013	160	0.5	0,1141	0,1141	2,9117	2,9117	34,81	125,31	142,71	12,2907	7,9278	2,0958
S5c014	160	0.6	0,0554	0,0554	2,4660	2,4660	45,47	135,26	122,71	10,3671	5,9247	1,9913
S5c121	180	0.2	0,1973	0,4323	4,8503	5,0853	45,52	124,27	116,87	33,1923	21,5805	5,9428
S5c031	180	0.3	0,3624	0,4110	4,1038	4,1524	38,06	122,01	123,81	22,3771	14,6845	3,3562
S5c122	180	0.4	0,2488	0,3174	3,5769	3,6455	47,16	137,62	110,78	18,6922	11,1159	3,2073
S5c084	180	0.5	0,0000	0,4068	2,9424	3,3492	39,71	130,30	139,10	14,7136	8,9058	2,0027
S5c036	180	0.6	0,0000	0,2131	2,6627	2,8758	39,68	122,01	133,29	12,5607	7,4348	1,8921
S5c037	180	0.7	0,0000	0,2621	2,5368	2,7989	37,71	127,68	136,96	10,7589	6,5958	1,596
S5c085	200	0.2	0,5835	0,6777	5,2847	5,3789	36,13	128,79	137,44	38,0867	22,2155	7,6789
S5c044	200	0.3	0,4318	0,5224	4,4414	4,5320	43,14	120,44	118,47	25,6713	16,5643	4,4084
S5c045	200	0.4	0,0000	0,7821	3,3901	4,1722	38,41	116,15	128,30	21,3397	12,2601	3,6003
S5c046	200	0.5	0,0000	0,5132	2,9338	3,4470	35,38	116,46	129,90	17,1551	9,1454	3,4148
S5c047	200	0.6	0,3020	0,5310	3,0728	3,3018	35,84	114,63	123,92	14,6855	8,0443	2,1762
S5c048	200	0.7	0,3503	0,5405	2,9442	3,1344	37,85	119,68	137,38	13,1934	7,1670	1,5335
S5c050	220	0.2	0,9129	1,2254	5,6398	5,9523	35,58	108,89	124,82	43,7268	23,0866	11,288
S5c086	220	0.3	0,7610	0,8190	4,8484	4,9064	38,86	124,65	137,98	29,6031	17,3117	5,481
S5c052	220	0.4	0,6704	0,7187	4,3967	4,4450	37,96	119,49	131,09	24,9206	14,3554	3,0897

Příloha č. 3, list č. 3/4

Tab. 9.2.3: Geometrie svarové lázně

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	L _c [mm]:	L ₀ [mm]:	a [mm]:	b [mm]:	b _{max} [mm]:	c [mm]:	e [mm]:	p [mm]:	w [mm]:	x [mm]:	X _{max} [mm]:
S5c053	220	0,5	15,36	3,87	3,2399	5,2320	5,5140	4,1091	0,2957	0,9263	6,6494	0,4839	1,2277
S5c054	220	0,6	13,87	5,26	2,8502	4,6740	5,2744	3,5957	0,4771	0,9059	5,8821	0,7944	1,0491
S5c087	220	0,7	14,14	4,21	2,6862	4,2549	4,6608	3,4584	0,2218	0,8812	5,4777	0,3515	1,2257
S5c056	220	0,8	14,07	3,98	2,4074	4,2307	4,5923	2,9187	0,2775	0,8046	5,1411	0,5004	1,2404
S5c058	240	0,2	22,82	8,4	5,5274	8,6243	9,5022	7,6672	1,5259	0,9523	11,5356	2,2650	2,4407
S5c059	240	0,3	17,94	5,84	4,6591	7,4603	7,9027	5,9543	0,9858	0,7466	9,5351	1,5594	1,9556
S5c060	240	0,4	19,11	4,26	4,0360	6,6853	7,0315	5,0589	0,7929	0,7501	8,3819	1,2978	2,0645
S5c061	240	0,5	17,98	5,75	3,6016	5,9744	6,5002	4,4961	0,6487	0,7827	7,4763	1,0626	1,7193
S5c062	240	0,6	18,12	4,5	3,2253	5,6544	6,0534	3,9454	0,5271	0,9238	6,8820	0,8096	1,9291
S5c063	240	0,7	17,82	5,22	2,9592	4,7842	5,3283	3,7715	0,7881	0,7672	6,0957	1,2678	1,5460
S5c064	240	0,8	15,25	3,05	2,6689	4,4665	4,8660	3,3291	0,5219	0,7603	5,5677	0,9030	1,5551
S5c065	260	0,2	29,86	-	6,3893	9,5507	10,5661	8,5850	2,1317	0,3477	12,8455	3,2413	3,4773
S5c066	260	0,3	25,58	7,88	5,2095	7,8724	8,7125	6,9711	1,6865	0,2231	10,5171	2,5611	2,9097
S5c067	260	0,4	24,9	5,79	4,5142	7,1142	7,7596	5,8475	1,7639	0,2082	9,2282	2,7826	2,9670
S5c068	260	0,5	23,57	7,59	4,2384	6,3127	7,5094	5,7134	1,2408	0,3258	8,5126	1,9378	1,9378
S5c069	260	0,6	20,71	10,97	3,5331	5,9208	6,6112	4,3863	1,0709	0,4250	7,3826	1,4849	2,6956
S5c070	260	0,7	20,43	5,23	3,2935	5,6409	6,6849	4,0442	1,1743	0,3928	6,9463	2,0145	2,0978
S5c071	260	0,8	22,94	3,51	2,8790	5,3504	6,0116	3,4173	0,9655	0,5855	6,3525	1,8179	2,1886
S5c072	280	0,3	29,82	14,14	5,5583	8,4543	10,1917	7,3899	1,9240	0,0000	11,2367	2,9368	3,0196
S5c073	280	0,4	29,95	11,5	4,8162	7,6777	8,9204	6,2081	2,2931	0,0793	9,8653	3,6778	3,8987
S5c074	280	0,5	25,26	22,84	4,3490	6,7457	8,4800	5,7018	2,3769	0,1174	8,8304	3,5876	3,6798
S5c075	280	0,6	27,99	4,5	3,9888	6,0800	7,2863	5,2827	1,8853	0,4709	8,0443	2,8810	2,8810
S5c076	280	0,7	28,84	10,08	3,3881	5,6470	7,1194	4,2338	1,6065	0,7452	7,0597	2,7265	2,7819
S5c077	280	0,8	27,51	3,39	3,3255	5,2706	6,6686	4,2739	1,5970	0,6602	6,7931	2,5079	2,5735
S5c078	300	0,4	26,29	15,74	5,3449	7,8542	10,5204	7,3038	2,4071	0,1999	10,7267	3,5560	4,1394
S5c079	300	0,5	24,77	19,29	4,7785	7,1494	9,7728	6,4299	1,9595	0,2466	9,6163	2,9045	3,6156
S5c080	300	0,6	21,55	17,59	4,3084	6,4538	8,9845	5,7671	1,8259	0,3288	8,6646	2,7278	3,2810
S5c081	300	0,7	26,76	7,3	3,6752	5,6786	7,9516	4,8128	1,8269	0,5915	7,4522	2,6928	3,1425
S5c082	300	0,8	24,18	4,95	3,3448	5,6365	7,1860	4,1626	1,8854	0,7527	7,0180	3,1721	3,2547
S5c083	300	0,9	24,38	2,94	2,9705	5,6158	6,6647	3,5096	1,8764	0,8845	6,6263	3,5413	3,5413

Tab. 9.2.4: Geometrie svarové lázně

Číslo svaru:	Proud [A]:	Rychlost svařování [m/min]:	z [mm]:	z _{max} [mm]:	v [mm]:	v _{max} [mm]:	α [°]:	β ₁ [°]:	β ₂ [°]:	P _c [mm ²]:	P _Δ [mm ²]:	P _n [mm ²]:
S5c053	220	0,5	0,3870	0,4088	3,6269	3,6487	38,90	122,96	137,19	18,0980	10,8622	2,7558
S5c054	220	0,6	0,6221	0,6221	3,4723	3,4723	38,21	124,90	137,68	15,5314	8,4999	2,5031
S5c087	220	0,7	0,2666	0,3828	2,9528	3,0690	34,56	124,78	126,71	13,8291	7,4797	2,0323
S5c056	220	0,8	0,4144	0,5702	2,8218	2,9776	38,42	128,13	138,42	12,3529	6,2803	1,9768
S5c058	240	0,2	1,6900	1,7866	7,2174	7,3140	41,57	131,80	138,06	52,9890	33,3080	5,4199
S5c059	240	0,3	1,2353	1,2353	5,8944	5,8944	38,98	128,87	141,34	35,8340	22,3012	3,1131
S5c060	240	0,4	0,9258	1,2987	4,9618	5,3347	36,55	121,06	134,02	29,3449	17,0319	2,8304
S5c061	240	0,5	0,8589	1,0400	4,4605	4,6416	36,87	125,47	142,43	24,7422	13,5659	2,6942
S5c062	240	0,6	0,7515	1,1116	3,9768	4,3369	35,56	124,92	141,23	21,5687	11,2585	2,5323
S5c063	240	0,7	0,9864	1,0177	3,9456	3,9769	38,22	128,29	138,66	18,1226	9,1279	1,9911
S5c064	240	0,8	0,7089	0,8437	3,3778	3,5126	36,84	109,38	124,50	16,0108	7,5399	2,4154
S5c065	260	0,2	2,3539	2,4856	8,7432	8,8749	41,58	142,75	147,85	68,8951	41,2642	3,0778
S5c066	260	0,3	1,9156	2,0197	7,1251	7,2292	41,06	131,89	156,07	46,9576	27,6621	1,6886
S5c067	260	0,4	2,1513	2,2066	6,6655	6,7208	39,32	129,14	140,51	37,7417	20,9231	0,8499
S5c068	260	0,5	1,3711	1,6526	5,6095	5,8910	41,78	132,19	137,70	31,9500	18,1704	1,2709
S5c069	260	0,6	1,4467	1,6596	4,9798	5,1927	36,93	126,43	143,29	27,3635	13,1246	1,4121
S5c070	260	0,7	1,6283	1,7327	4,9218	5,0262	35,61	125,64	144,47	24,9464	11,5379	1,3542
S5c071	260	0,8	1,5083	1,5918	4,3873	4,4708	32,50	115,65	130,32	21,4482	9,2644	2,0016
S5c072	280	0,3	2,1853	2,8978	7,7436	8,4561	41,20	150,45	156,37	59,2576	31,4654	1,5849
S5c073	280	0,4	2,8644	2,9786	7,6806	7,7948	39,56	148,02	157,54	49,5348	23,9407	1,7021
S5c074	280	0,5	2,7958	3,3803	7,1448	7,7293	40,42	140,38	157,32	41,2990	19,3797	0,6619
S5c075	280	0,6	2,1665	2,4697	6,1553	6,4585	40,45	147,87	130,32	36,3551	16,1462	2,2596
S5c076	280	0,7	2,1395	2,6800	5,5276	6,0681	37,25	127,01	139,35	31,5630	12,0692	2,6313
S5c077	280	0,8	1,9790	2,4049	5,3045	5,7304	39,11	133,39	142,02	28,3277	11,3656	2,068
S5c078	300	0,4	2,5750	4,2783	7,9199	9,6232	43,17	142,39	145,62	58,2537	28,8670	1,3693
S5c079	300	0,5	2,1985	4,0067	6,9770	8,7852	42,51	138,48	137,34	46,9315	23,0751	1,2659
S5c080	300	0,6	2,0504	3,7307	6,3588	8,0391	42,03	131,77	141,88	41,8847	18,7502	1,4679
S5c081	300	0,7	2,1483	3,4556	5,8235	7,1308	40,36	130,09	133,08	35,3626	13,7415	2,4503
S5c082	300	0,8	2,5502	3,1556	5,8950	6,5004	36,40	130,96	140,08	31,0092	11,7924	2,4208
S5c083	300	0,9	3,0110	3,1272	5,9815	6,0977	32,38	121,48	146,37	28,2836	9,9459	2,6314

Příloha č. 4, list č. 1/2

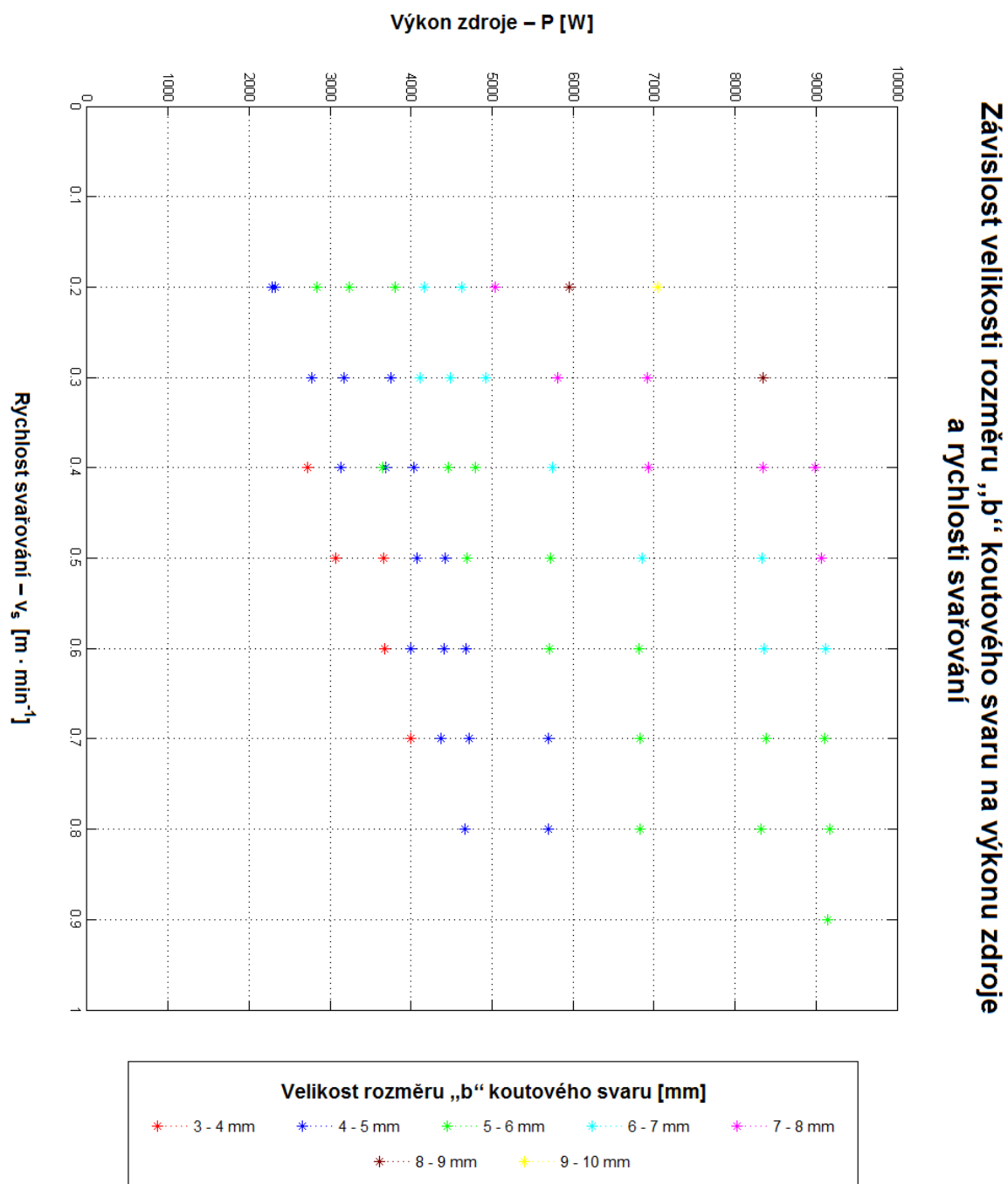
Tab. 9.3.1: Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817

Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového sv.	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S5c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c004	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c005	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c006	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B
S5c007	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c008	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c009	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c123	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c124	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c012	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c013	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c014	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c121	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c031	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c122	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c084	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c036	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c037	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c085	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c044	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c045	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c046	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c047	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c048	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c050	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B	B
S5c086	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c052	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c053	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c054	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c087	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c056	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c058	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c059	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c060	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B
S5c061	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c062	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c063	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c064	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B

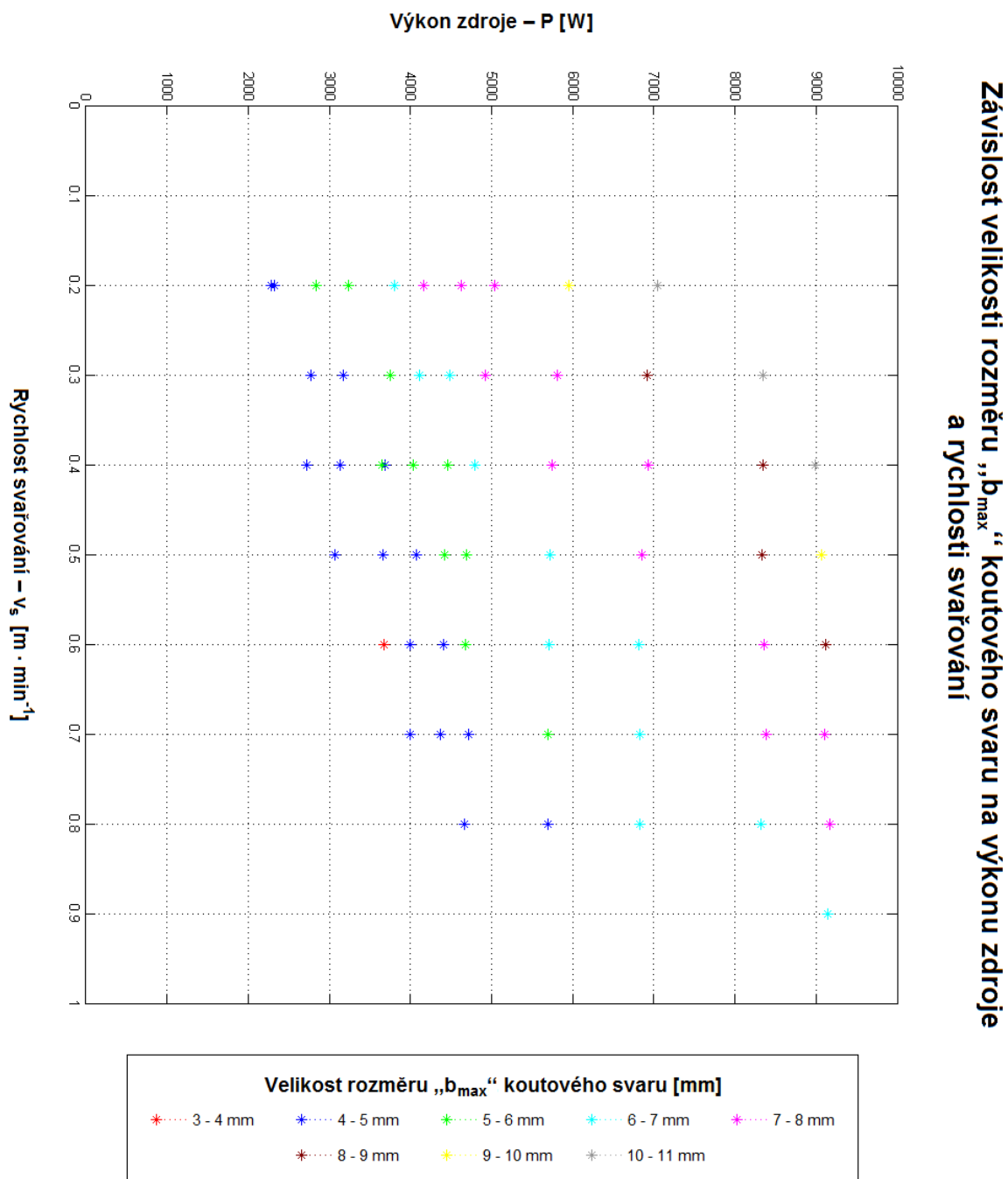
Příloha č. 4, list č. 2/2

Tab. 9.3.2: Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817

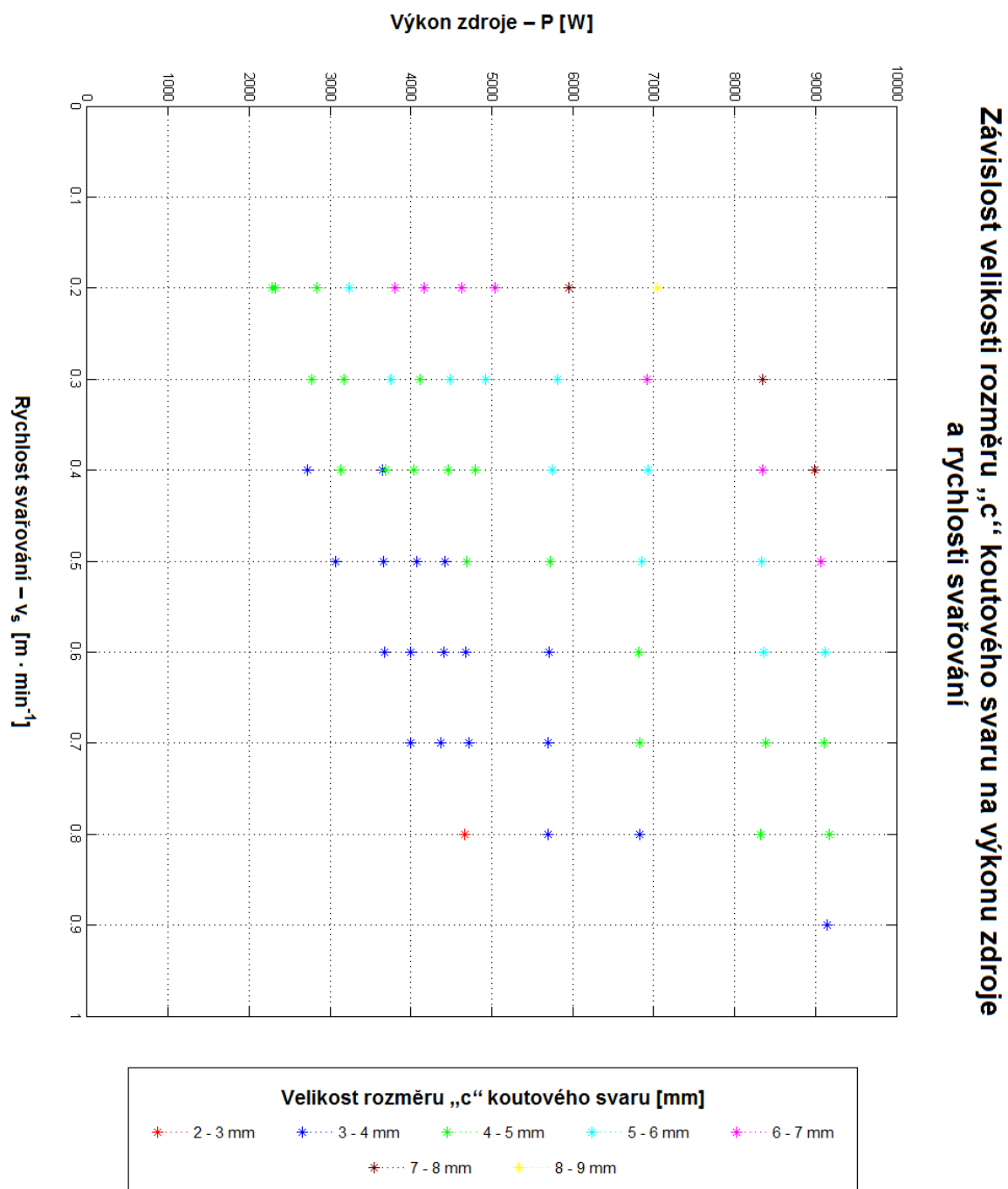
Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového sv.	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S5c065	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c066	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B
S5c067	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c068	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c069	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c070	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c071	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c072	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c073	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c074	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c075	B	B	B	B	B	B	B	D	C	B	B
S5c076	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c077	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c078	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c079	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c080	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c081	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c082	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c083	B	B	B	B	B	C	B	C	C	B	B



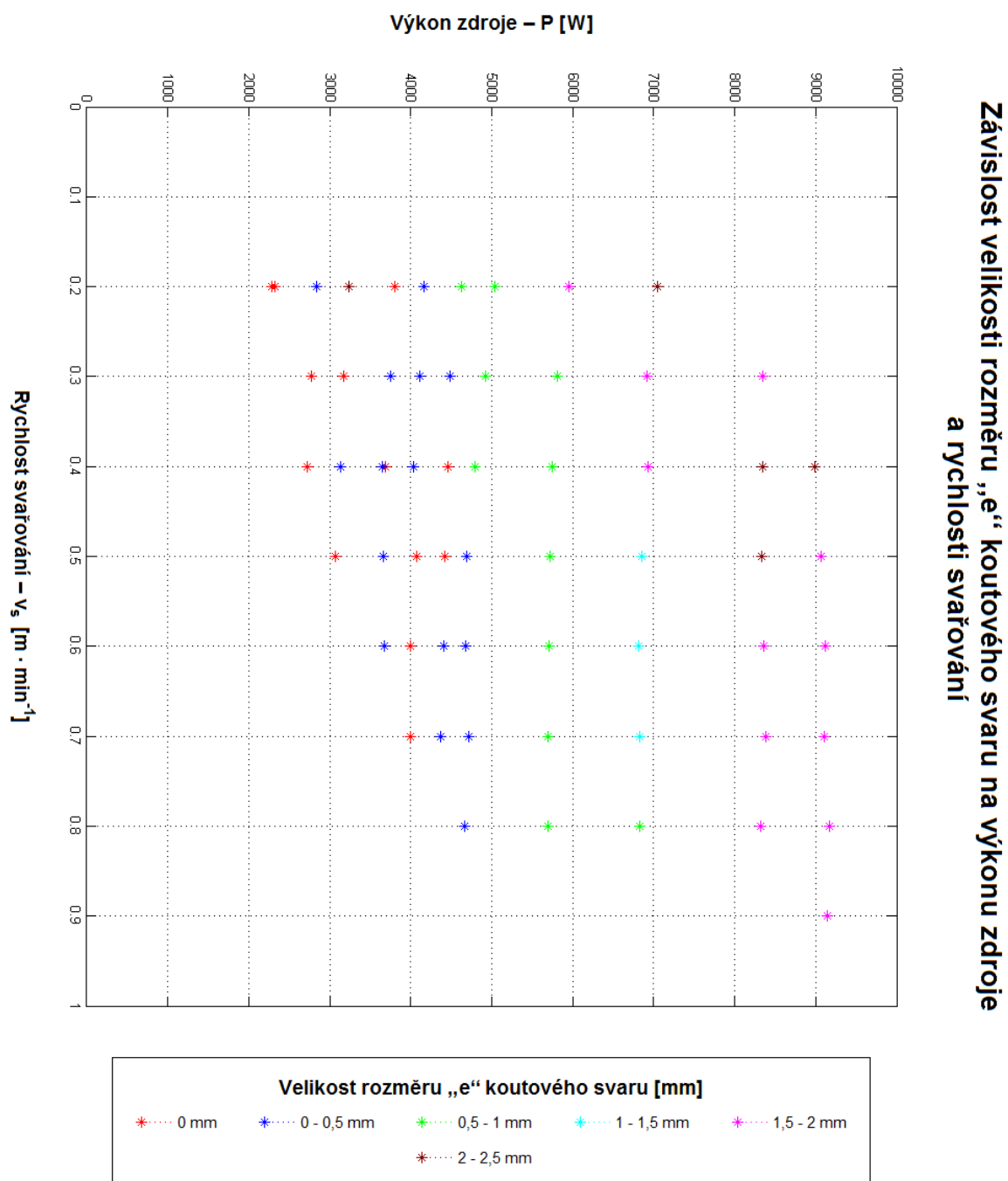
Graf 9.1: Závislost velikosti rozměru „b“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



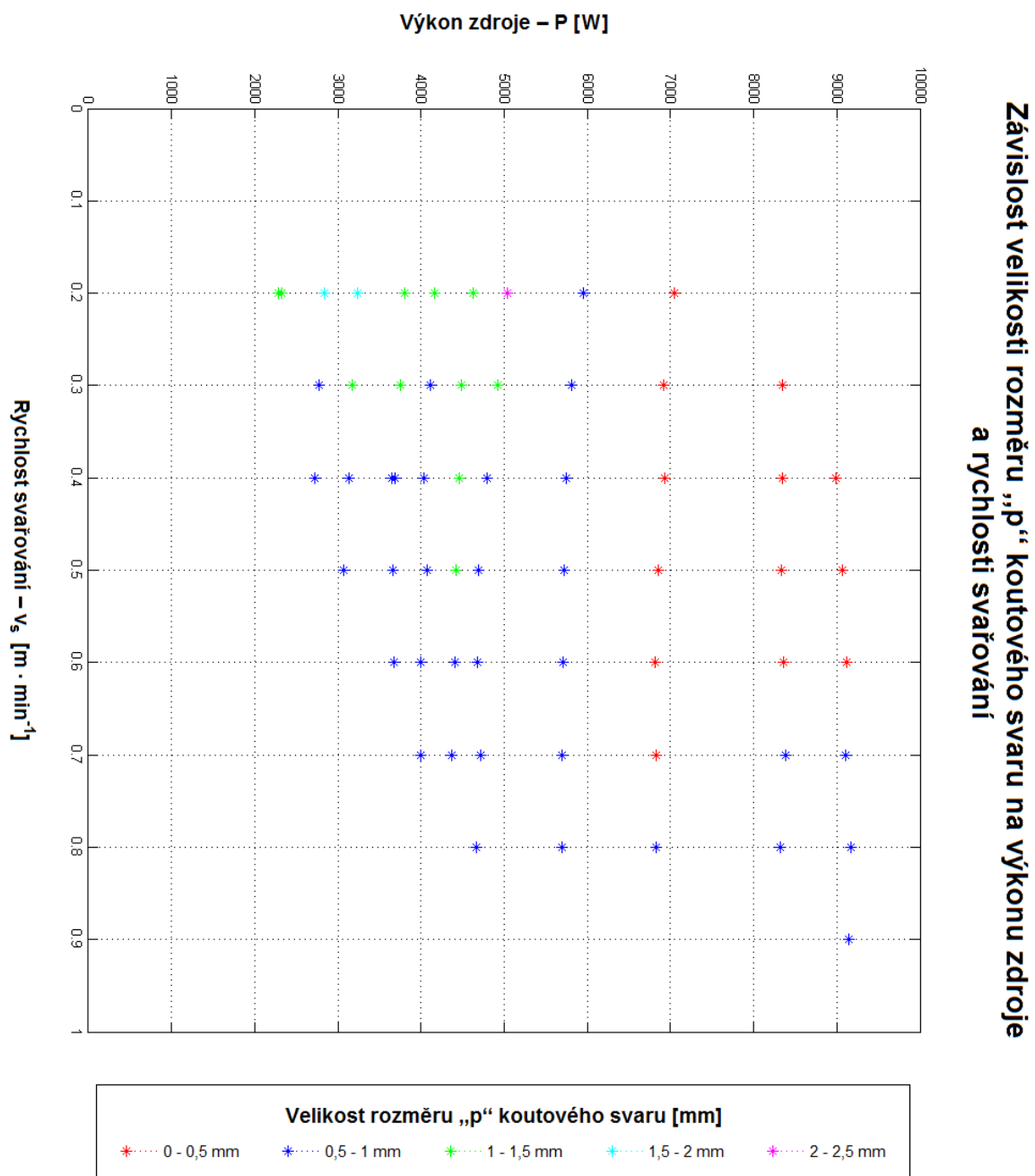
Graf 9.2: Závislost velikosti rozměru „b_{max}“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



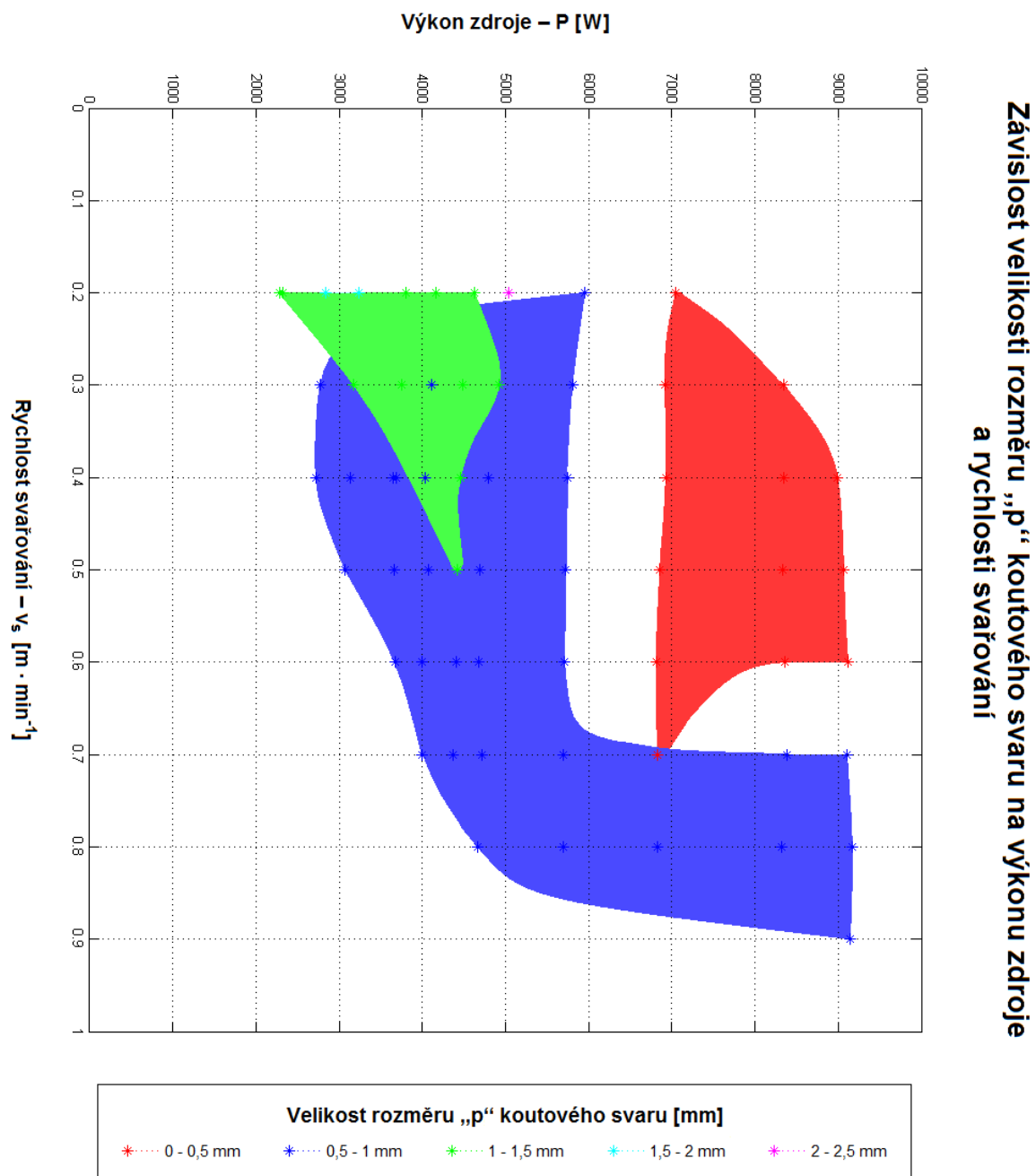
Graf 9.3: Závislost velikosti rozměru „c“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



Graf 9.4: Závislost velikosti rozměru „e“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů

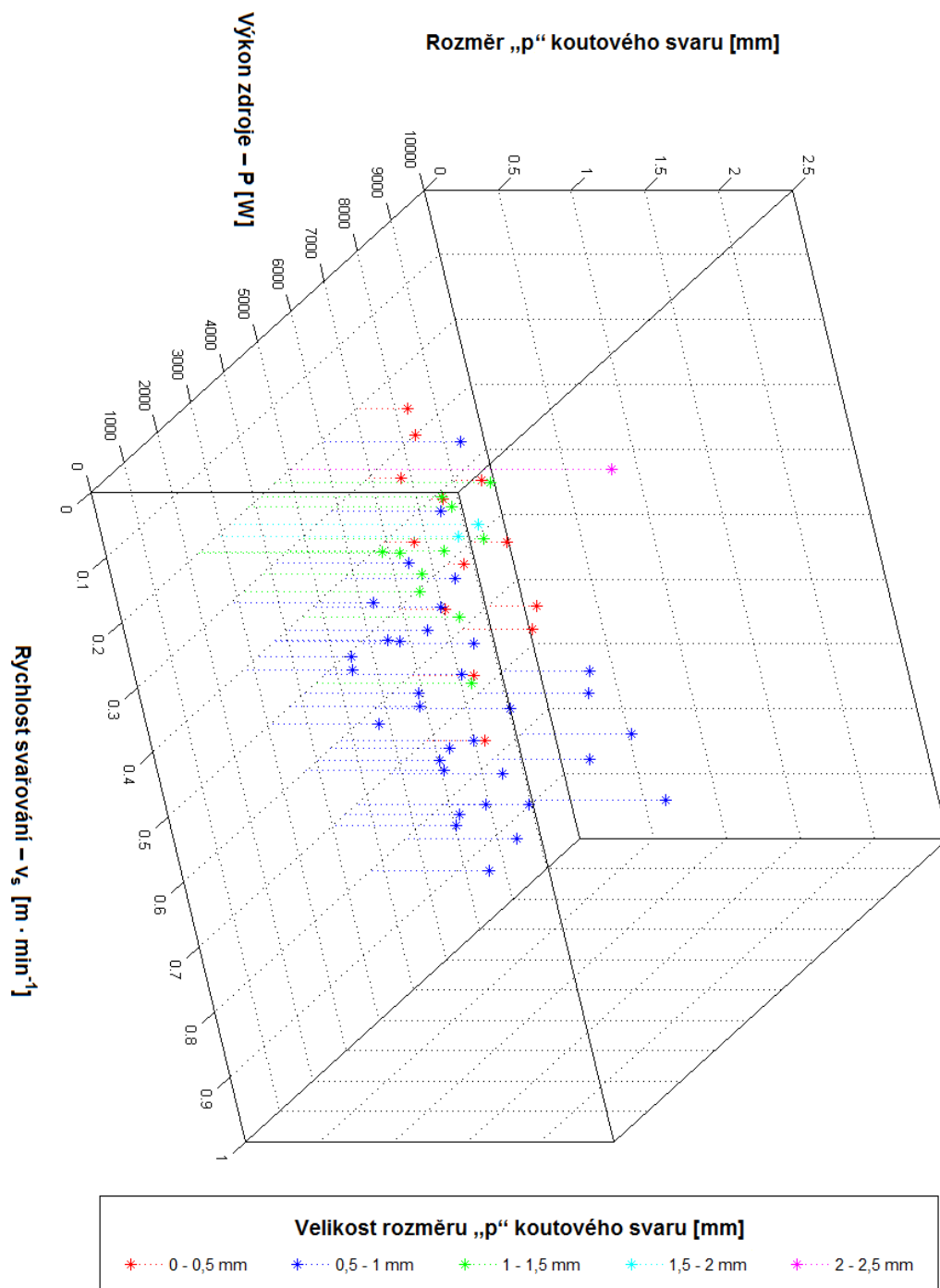


Graf 9.5.1: Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů

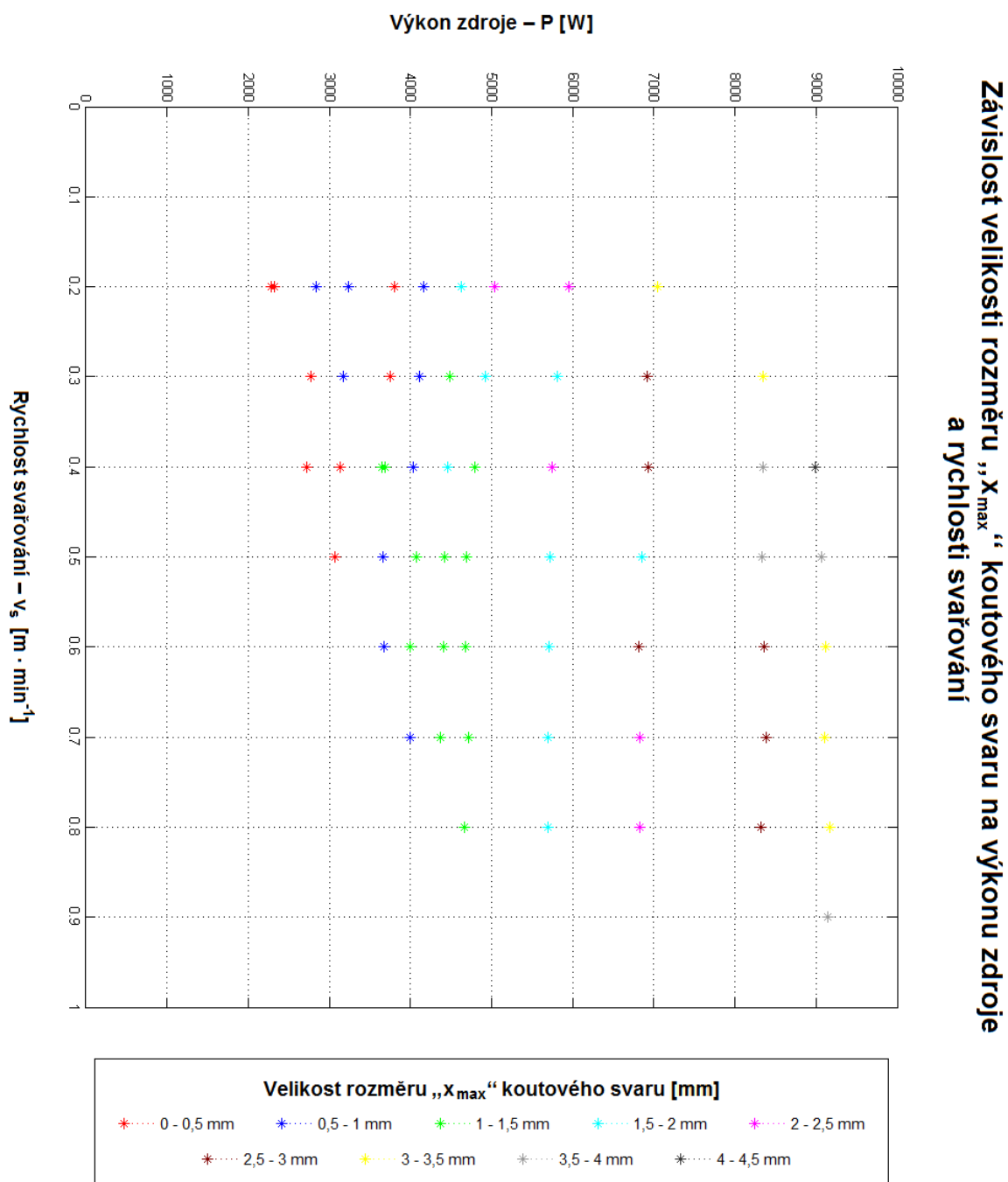


Graf 9.5.2: Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí ploch

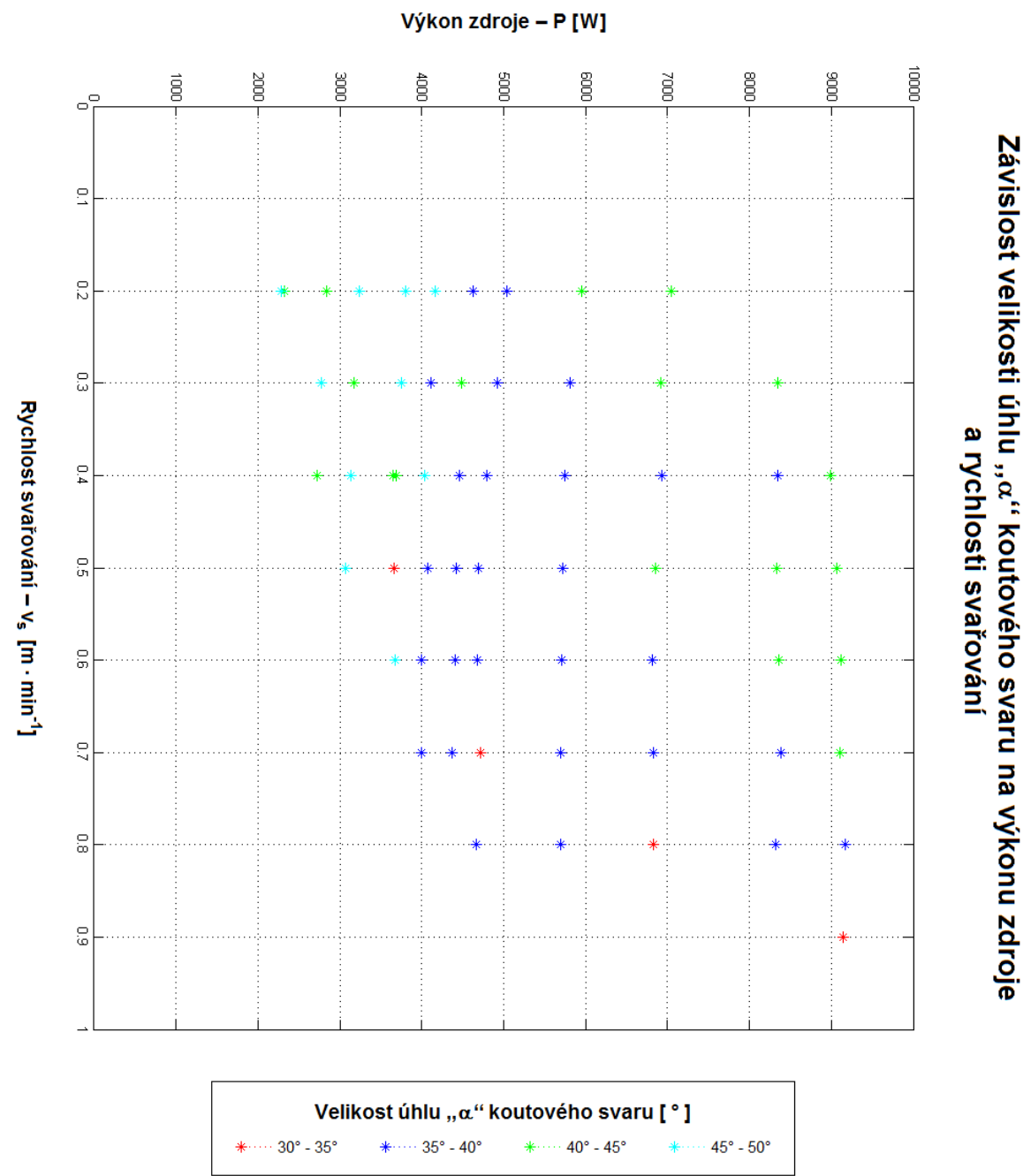
Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování



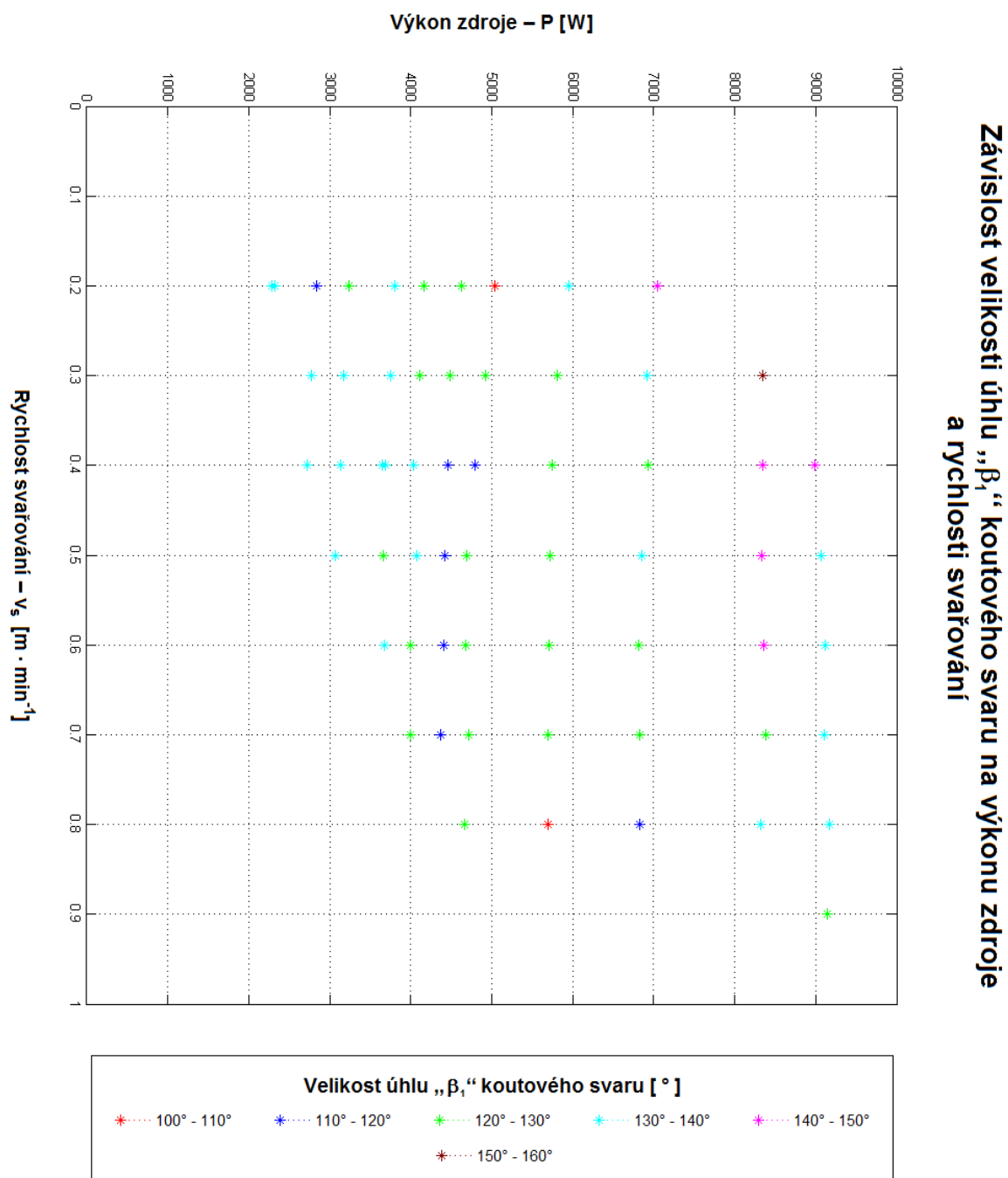
Graf 9.5.3: Závislost velikosti rozměru „p“ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 3D zobrazení pomocí bodů



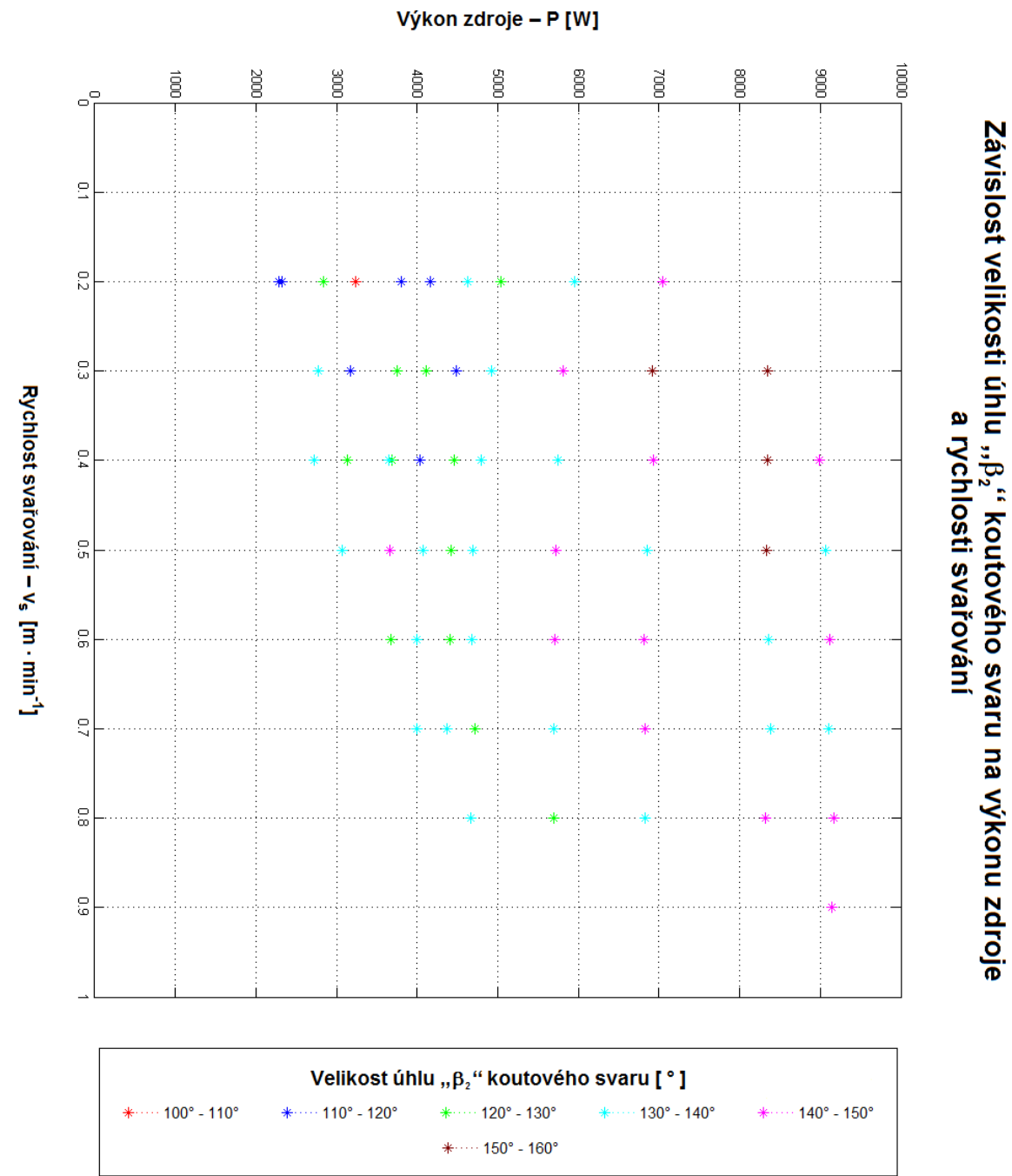
Graf 9.6: Závislost velikosti rozměru „ x_{\max} “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



Graf 9.7: Závislost velikosti úhlu „ α “ koutového svaru na výkonu zdroje
a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



Graf 9.8: Závislost velikosti úhlu „ β_1 “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů



Graf 9.9: Závislost velikosti úhlu „ β_2 “ koutového svaru na výkonu zdroje a rychlosti svařování – 2D zobrazení pomocí bodů

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. 1. 2011

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5. 1. 2011

Signature: